

UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD (LYON I)
FACULTE DE MEDECINE LYON-SUD

Année 1980 - N°224

**TRAUMATISMES
VERTEBROMEDULLAIRES
ET ACCIDENTS D'AUTOMOBILE**

Etude de 100 dossiers

THESE

présentée à l'Université Claude-Bernard (Lyon I)
et soutenue publiquement le 11 juin 1980 pour obtenir le grade de Docteur en Médecine
par **TARDY Christophe** né le 20 juin 1953 à Oullins

UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD (LYON I)
FACULTE DE MEDECINE LYON-SUD

Année 1980 - N° 224

**TRAUMATISMES
VERTEBROMEDULLAIRES
ET ACCIDENTS D'AUTOMOBILE**

Etude de 100 dossiers

THESE

présentée à l'Université Claude-Bernard (Lyon I)

et soutenue publiquement le 11 juin 1980 pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

par **TARDY Christophe** né le 20 juin 1953 à Oullins



UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président : Mr D. GERMAIN, Professeur

Premier Vice-Président : M. DUFAY, Professeur

Deuxième Vice Président : M. DUPLAN, Maître Assistant

Troisième Vice-Président : Mlle A. ECHALLON, Etudiante

Secrétaire général de l'Université : Mr J. RAMBAUD, Administrateur civil

Unités d'Enseignement et de Recherche (U.E.R.)

U.E.R. FACULTE DE MEDECINE GRANGE-BLANCHE

Mr P. ZECH, Professeur

U.E.R. FACULTE DE MEDECINE ALEXIS CARREL

Mr R. MORNEIX, Professeur

U.E.R. DE MEDECINE LYON NORD

Mr Y. MINAIRE,
Maître de Conférences Agrégé

U.E.R. FACULTE DE MEDECINE LYON SUD

Mr J. NORMAND, Professeur

U.E.R. FACULTE DE PHARMACIE

Mr C.A. BIZOLLON, Professeur

U.E.R. FACULTE DES TECHNIQUES DE READAPTATION

Mr A. MORGON, Professeur

U.E.R. DE BIOLOGIE HUMAINE

Mr J.P. REVILLARD,
Maître de Conférences Agrégé

U.E.R. E.P.S.

Mr A. MILLON, Professeur d'E.P.S.

U.E.R. FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Mr J. PARRET, Professeur

U.E.R. DE MATHÉMATIQUES

Mr P. PICARD, Professeur

U.E.R. DE PHYSIQUE

Mr J. DELMAU, Professeur

U.E.R. FACULTE DE CHIMIE ET DE BIOCHIMIE

Mme A. VARAGNAT, Maître Assistant

U.E.R. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE

Mr Y. LEMOIGNE, Professeur

U.E.R. FACULTE DE SCIENCES PHYSIOLOGIQUES

Mlle J.F. WORBE, Professeur

U.E.R. DE PHYSIQUE NUCLEAIRE

Mr M. GUSAKOW, Professeur

U.E.R. DE MECANIQUE

Mlle G. COMTE-BELLÔT, Professeur

U.E.R. OBSERVATOIRE DE LYON

Mr G. MONNET, Astronome Adjoint

U.E.R. I.U.T. 1

Mr A. VILLE, Professeur

U.E.R. I.U.T. 2

Mr J. GALLET, Directeur E.N.S.A.M.

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président : Mr D. GERMAIN, Professeur

Premier Vice-Président : M. DUFAY, Professeur

Deuxième Vice Président : M. DUPLAN, Maître Assistant

Troisième Vice-Président : Mlle A. ECHALLON, Etudiante

Secrétaire général de l'Université : Mr J. RAMBAUD, Administrateur civil

Unités d'Enseignement et de Recherche (U.E.R.)

U.E.R. FACULTE DE MEDECINE GRANGE-BLANCHE	Mr P. ZECH, Professeur
U.E.R. FACULTE DE MEDECINE ALEXIS CARREL	Mr R. MORNEX, Professeur
U.E.R. DE MEDECINE LYON NORD	Mr Y. MINAIRE, Maître de Conférences Agrégé
U.E.R. FACULTE DE MEDECINE LYON SUD	Mr J. NORMAND, Professeur
U.E.R. FACULTE DE PHARMACIE	Mr C.A. BIZOLLON, Professeur
U.E.R. FACULTE DES TECHNIQUES DE READAPTATION	Mr A. MORGON, Professeur
U.E.R. DE BIOLOGIE HUMAINE	Mr J.P. REVILLARD, Maître de Conférences Agrégé
U.E.R. E.P.S.	Mr A. MILLON, Professeur d'E.P.S.
U.E.R. FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON	Mr J. PARRET, Professeur
U.E.R. DE MATHÉMATIQUES	Mr P. PICARD, Professeur
U.E.R. DE PHYSIQUE	Mr J. DELMAU, Professeur
U.E.R. FACULTE DE CHIMIE ET DE BIOCHIMIE	Mme A. VARAGNAT, Maître Assistant
U.E.R. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE	Mr Y. LEMOIGNE, Professeur
U.E.R. FACULTE DE SCIENCES PHYSIOLOGIQUES	Mlle J.F. WORBE, Professeur
U.E.R. DE PHYSIQUE NUCLEAIRE	Mr M. GUSAKOW, Professeur
U.E.R. DE MECANIQUE	Mlle G. COMTE-BELLOT, Professeur
U.E.R. OBSERVATOIRE DE LYON	Mr G. MONNET, Astronome Adjoint
U.E.R. I.U.T. 1	Mr A. VILLE, Professeur
U.E.R. I.U.T. 2	Mr J. GALLET, Directeur E.N.S.A.M.

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. BOURRET

PAR SES ACQUISITIONS SA GRANDE HUMANITÉ, LA RICHESSE DE SON

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

DIAGNOSTIC

- PRÉSIDENT : MONSIEUR LE PROFESSEUR J. BOURRET

- ASSESSEURS : MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ A. GOUTELLE

DE NOTRE INCLINATION POUR LA RÉÉDUCATION ET RÉADAPTATION

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ A. MORIN

FONCTIONNELLE.

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ M. EYSSETTE

NOUS LE REMERCIONS DE L'HONNEUR QU'IL NOUS FAIT EN

ACCEPTANT LA PRÉSIDENTIE DE CE JURY DE THÈSE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554204_0011

A NOTRE MAITRE ET PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR J. BOURRET

NOUS ADMIRONS SA GRANDE HUMANITÉ, LA RICHESSE DE SON DISCOURS ET LA SUBTILITÉ AVEC LAQUELLE IL CONDUIT SON DIAGNOSTIC.

UN SEMESTRE D'EXTERNAT PASSÉ DANS SON SERVICE A DÉCIDÉ DE NOTRE INCLINATION POUR LA RÉÉDUCATION ET RÉADAPTATION FONCTIONNELLE.

NOUS LE REMERCIONS DE L'HONNEUR QU'IL NOUS FAIT EN ACCEPTANT LA PRÉSIDENTE DE CE JURY DE THÈSE

A NOS JUGES

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ A. GOUTELLE

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ A. MORIN

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ M. EYSSETTE

NOUS AVONS APPRÉCIÉ LEUR ENSEIGNEMENT ET LEURS TRAVAUX.

NOUS LES REMERCIONS D'AVOIR ACCEPTÉ DE JUGER CE TRAVAIL.

A MA FEMME

AVEC TOUT MON AMOUR

A MES PARENTS

DE TOUTE MON AFFECTION, JE LES REMERCIE POUR TOUT
CE QUE JE LEUR DOIS

A MES BEAUX-PARENTS

A MON FRERE PHILIPPE

A MA FAMILLE

A MES AMIS

À MADAME LE DOCTEUR M. RAMET

À MONSIEUR LE DOCTEUR E. BERARD

À MONSIEUR D. CESARI

NOUS LES REMERCIONS DE NOUS AVOIR CONDUIT, TOUT AU LONG
DE CETTE ÉTUDE, DANS LES MÉANDRES DE L'ACCIDENTOLOGIE
ET DE LA TRAUMATOLOGIE

S O M M A I R E

INTRODUCTION	1
LES DOSSIERS	3
Les 90 blessés	3
Les 10 tués	6
ANALYSE DU CONTENU DES REPONSES	7
Paramètres généraux	7
Les résultats en fonction du type de choc	7
ETUDE ANATOMOCLINIQUE DES LESIONS VERTEBROMEDULLAIRES	12
Rappel anatomique et biomécanique concernant l'axe vertébro-médullaire	12
<i>Le rachis</i>	12
<i>Les formations neurologiques intracanales</i>	28
Lésions ostéoarticulaires	35
Lésions neurologiques	47
RELATIONS EXISTANT ENTRE LES CIRCONSTANCES ACCIDENTOLOGIQUES ET LES LESIONS ANATOMIQUES	60
Relations entre circonstances accidentologiques et lésions osseuses (sur 100 cas étudiés)	60
Relations entre circonstances accidentologiques et lésions nerveuses initiales et stabilisées	63
Relations entre circonstances accidentologiques, lésions osseuses et neurologiques (à propos de 90 cas)	67
Relations entre circonstances accidentologiques et lésions associées extrarachidiennes	83
L'étiologie des décès (portant sur 10 dossiers)	92
ETUDE SYNTHETIQUE DES LESIONS SOUS L'ANGLE ACCIDENTOLOGIQUE	95
Notions d'accidentologie	96
Etude accidentologique de nos dossiers	106
<i>Le retournement</i>	106
<i>Le choc frontal</i>	111
<i>Les autres types de choc</i>	118

LES MESURES DE PROTECTION ET DE PREVENTION ROUTIERE	126
La route	126
Le véhicule	127
L'occupant	130
CONSEQUENCES PRATIQUES POUR L'ORGANISATION D'UNE PROTECTION	131
CONCLUSION	140

INTRODUCTION

Les accidents d'automobiles représentent une part importante parmi les étiologies des lésions vertébro-médullaires.

D'après les principaux travaux publiés, la proportion des accidentés automobilistes dans l'ensemble des blessés souffrant de telles lésions est de (3) :

- . 32,7 % pour M. CASTANIER, LYON, 1978
- . 44,4 % pour N.G. SUTTON, AUS, 1973
- . 26,7 % pour H.L. FRANKEL, G.B., 1969
- . 37, 5 % pour J.F. KRAUS, USA, 1975

Aussi, les médecins de l'unité de blessés médullaires de l'Hôpital Henry GABRIELLE de Saint-Genis Laval (Professeur J. BOURRET) ont voulu connaître les relations qui existent entre ces blessures vertébro-médullaires et les données de l'accidentologie.

Pour cela, nous nous sommes tournés vers les responsables du Laboratoire des Chocs et de Biomécanique de l'ORGANISME NATIONAL DE SECURITE ROUTIERE (O.N.S.E.R.) de BRON (Directeur M. J. LEROY).

Le présent travail est donc le fruit de cette collaboration. Il porte sur l'étude de 100 dossiers d'accidentés automobilistes (véhicules légers, camionnettes, poids-lourds) ayant subi des lésions vertébro-médullaires.

Après les chapitres épidémiologique, anatomique et biomécanique, nous analyserons ces diverses données afin de rechercher un modèle de direction de choc engendrant un type de lésion exploitable par les ingénieurs du Laboratoire des Chocs et de Biomécanique de l'O.N.S.E.R., et permettant aux cliniciens de préciser la physiopathologie des blessures qu'ils traitent.

Il est, en effet, primordial, de proposer des moyens de protection contre les lésions anatomiques notamment neurologiques, ces moyens de protection peuvent aussi avoir une incidence sur le comportement des usagers, la conception du véhicule et l'aménagement du réseau routier.

LES DOSSIERS

Pour assurer la représentativité de l'échantillon par rapport à des études effectuées précédemment par l'O.N.S.E.R., parmi les 100 cas que nous avons analysés, nous avons étudié 90 dossiers concernant des blessés vertébro-médullaires soignés à l'Hôpital Henry GABRIELLE et 10 cas d'accidentés atteints, eux aussi, de lésions de l'axe rachidien, mais décédés immédiatement et autopsiés.

LES 90 BLESSÉS

LE RECRUTEMENT

Un questionnaire concernant les circonstances accidentologiques a été adressé à 200 anciens malades recrutés dans les fichiers de l'hôpital et grâce à une liste fournie par l'ordinateur à partir d'un travail statistique de Madame le Docteur M. CASTANIER.

Les conditions nécessaires et suffisantes à cette sélection ont été la présence d'une atteinte osseuse vertébrale et/ou médullaire survenue lors d'un accident d'automobile. Parmi les réponses écrites, 71 étaient exploitables ; 19 malades supplémentaires ont donc été interrogés par nous-mêmes lors de leur hospitalisation, au minimum cinq mois après leur accident, délai suffisant pour que la lésion soit stabilisée.

LES DOSSIERS MEDICAUX

Leur étude a porté sur les lésions osseuses vertébrales, neurologiques et associées, considérées à la phase initiale (radiographie, compte-rendus opératoires, description des lésions par les divers services d'accueil) et tout au long de leur évolution jusqu'à la phase de stabilisation.

LES DOSSIERS

Pour assurer la représentativité de l'échantillon par rapport à des études effectuées précédemment par l'O.N.S.E.R., parmi les 100 cas que nous avons analysés, nous avons étudié 90 dossiers concernant des blessés vertébro-médullaires soignés à l'Hôpital Henry GABRIELLE et 10 cas d'accidentés atteints, eux aussi, de lésions de l'axe rachidien, mais décédés immédiatement et autopsiés.

LES 90 BLESSÉS

LE RECRUTEMENT

Un questionnaire concernant les circonstances accidentologiques a été adressé à 200 anciens malades recrutés dans les fichiers de l'hôpital et grâce à une liste fournie par l'ordinateur à partir d'un travail statistique de Madame le Docteur M. CASTANIER.

Les conditions nécessaires et suffisantes à cette sélection ont été la présence d'une atteinte osseuse vertébrale et/ou médullaire survenue lors d'un accident d'automobile. Parmi les réponses écrites, 71 étaient exploitables ; 19 malades supplémentaires ont donc été interrogés par nous-mêmes lors de leur hospitalisation, au minimum cinq mois après leur accident, délai suffisant pour que la lésion soit stabilisée.

LES DOSSIERS MEDICAUX

Leur étude a porté sur les lésions osseuses vertébrales, neurologiques et associées, considérées à la phase initiale (radiographie, compte-rendus opératoires, description des lésions par les divers services d'accueil) et tout au long de leur évolution jusqu'à la phase de stabilisation.

LE QUESTIONNAIRE

Date de l'accident :

Pouvez-vous préciser le lieu de l'accident :

Forces de Police chargée du constat :

(ex : Gendarmerie de ... ou CRS de ...)

N° et catégorie de la route :

(ex : RD n°, RN n°, CD n° ou Autoroute ..)

ou, à défaut, localité la plus proche desservie par cette route

nom :

Département :

Vous étiez occupant(e) - d'un véhicule de tourisme

- d'une camionnette

- d'un camion

- d'un car

(barrer les
mentions inutiles)

Quelle place occupiez-vous dans le véhicule :

passager AV gauche

passager AV droit

passager AV centre

passager AR gauche

passager AR droit

passager AR centre

(rayer les mentions inutiles)

Avez-vous été éjecté du véhicule

☐ OUI

☐ NON

Si vous étiez porteur d'une ceinture de sécurité, pensez-vous qu'elle ait joué un rôle

EFFICACE

INEFFICACE

La collision a-t-elle eu lieu contre :

- une voiture de tourisme

- un poids lourd

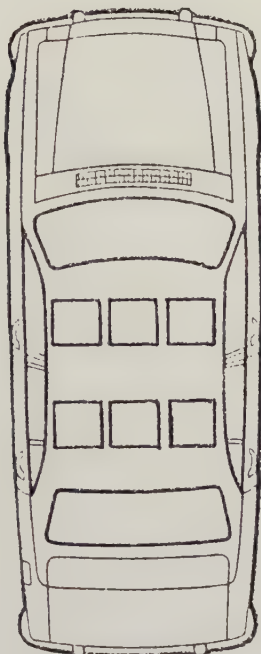
- un obstacle fixe (lequel)

(rayer les
mentions inutiles)

Avez-vous effectué des tonneaux

OUI

NON



Quelle partie de votre véhicule
a été heurtée

l'avant

le côté gauche

le côté droit

l'arrière

l'ensemble du véhicule (en cas de
tonneaux ou de chute)

*Pouvez-vous hachurer sur le dessin
ci-contre les endroits heurtés*

Si vous possédez des photos du véhicule accidenté, pouvez-vous nous les
communiquer ? Nous nous engageons à vous les retourner par retour du courrier.

LES 10 TUÉS

Les vérifications anatomiques ont été effectuées, dans le cadre d'une étude de l'O.N.S.E.R. (Thèse de J. SIVARD (93)), à l'Institut de Médecine Légale de LYON (Professeur L. ROCHE).

ANALYSE DU CONTENU DES REPONSES

PARAMÈTRES GENERAUX

L'échantillon se répartit en 67 hommes et 33 femmes, dont la distribution par tranches d'âge est reproduite sur les figures 1 et 2 .

Il se dégage deux remarques de ces histogrammes :

. la répartition des cas féminins est sensiblement uniforme dans les tranches d'âge actif. Ce profil approche celui des "impliqués dans des accidents de véhicule de tourisme" établi par les services du Ministère de l'Equipement (20,2 % dans la tranche des 20/24 ans en 1976).

. en ce qui concerne les hommes, la répartition est différente puisque 38,8 % des accidentés appartiennent à la catégorie 16/20 ans (les statistiques officielles dénombrent 9,1 % entre 15 et 19 ans) et 62,7 % à la tranche 16/25 ans : comment ne pas évoquer ici le classique et malheureusement très fréquent accident "de sortie de bal" survenant dans la nuit du samedi au dimanche alors que le conducteur présente une alcoolémie élevée.

LES RÉSULTATS EN FONCTION DU TYPE DE CHOC

Les situations sont classées selon cinq types principaux :

- . le choc frontal
- . les chocs latéraux (droit et gauche)
- . le choc arrière
- . le retournement

Les éjections, lorsqu'elles ont été la cause des lésions, ont été regroupées dans une 6e catégorie.

Afin de clarifier ces résultats, nous allons établir des tableaux synthétiques.

REPARTITION PAR TRANCHE D'AGE DES 100 CAS

Nombre de cas

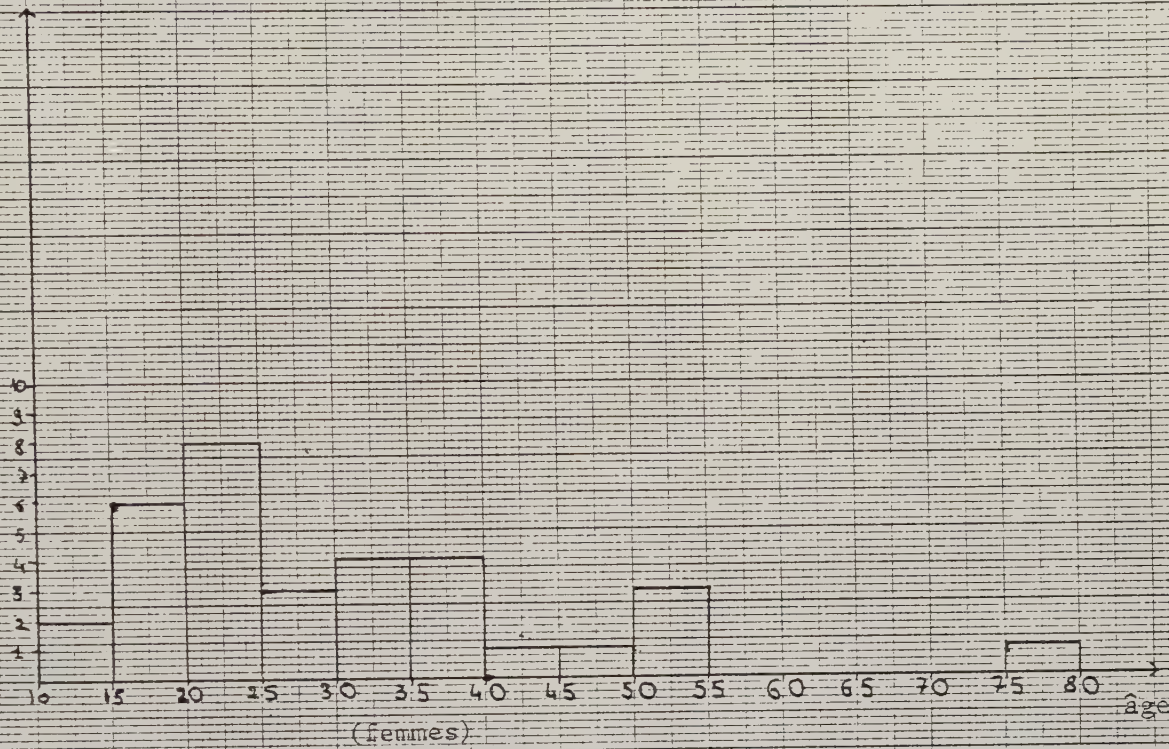


Fig. 1

Nombre de cas

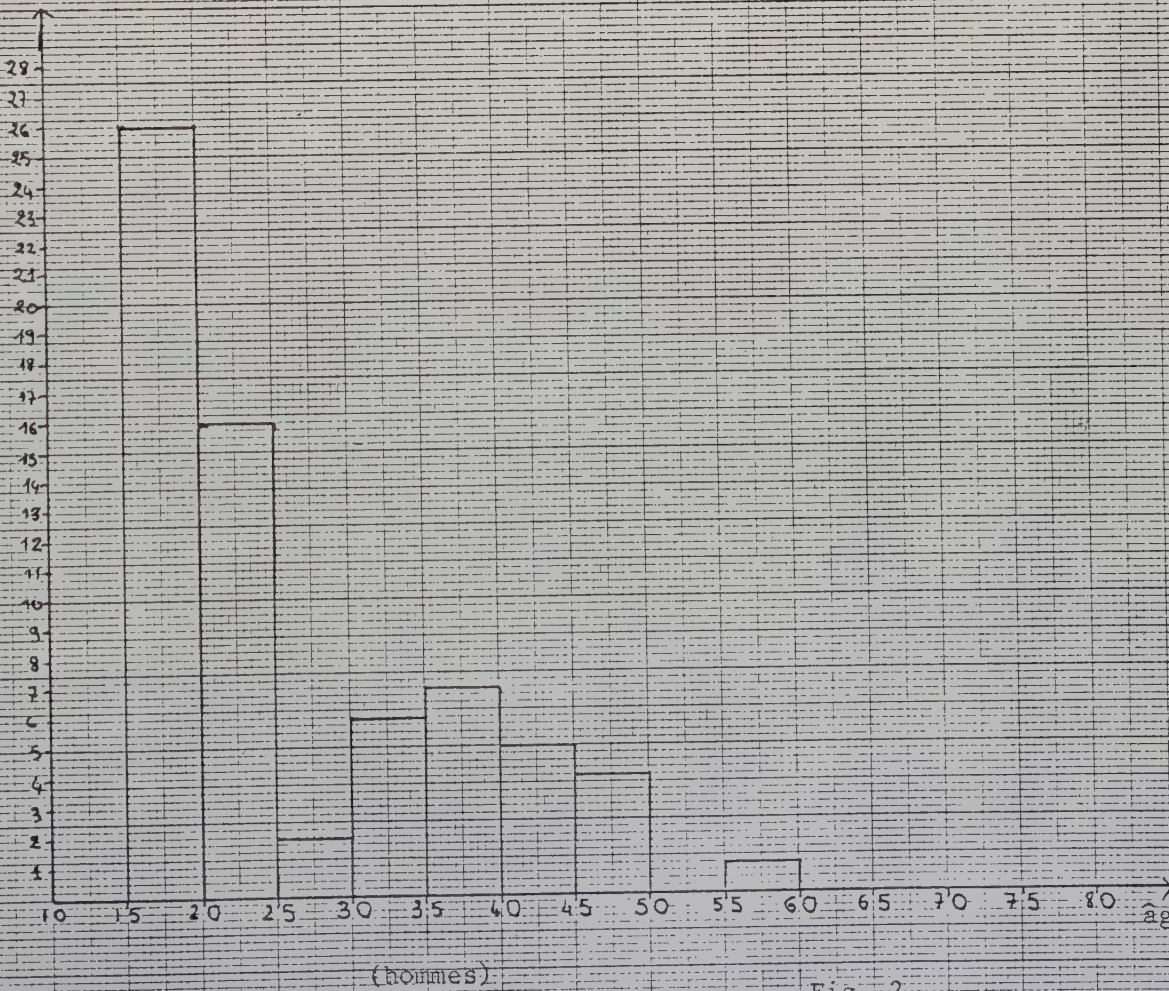


Fig. 2

LA REPARTITION DES CAS EN FONCTION DU TYPE DE CHOC ET DE L'EJECTION

- choc frontal	:	32
- choc latéral droit	:	6
- choc latéral gauche	:	2
- choc arrière	:	8
- retournement	:	46
- éjection	:	6

LES TYPES DE VEHICULES ACCIDENTES

Type de choc Type de véhicule	Frontal	Latéral D	Latéral G	Arrière	Retourn.	Ejection
Véhicule de tourisme	24	5	2	8	41	6
Camionnette	5	1			5	
Poids-lourd	3					

LA PLACE OCCUPEE PAR L'ACCIDENTE

Type de choc Place occupée	Frontal	Latéral D	Latéral G	Arrière	Retourn.	Ejection
Conducteur	16	2	2	5	19	3
Passager avant droit	12	2		1	13	2
Passager avant centre	2				2	
Passager arrière gauche				1	8	
Passager arrière droit		2		1	4	
Passager arrière centre	2					1

LA NATURE DU LIEU DE L'ACCIDENT

Type de choc Lieu	Frontal	Latéral D	Latéral G	Arrière	Retourn.	Ejection
Autoroute	1	1		1	1	
Route Nation.	9	1	1	4	14	1
Route Départ.	16	2	1		14	3
Chemin Départ.	2	2			5	1
Ville	3					
Voie communale					2	
Non précisé	1			3	10	1

LA NATURE DE L'OBSTACLE RENCONTRE

Type de choc Obstacle	Frontal	Latéral D	Latéral G	Arrière	Retourn.	Ejection
Véhicule de tourisme	8	1	2	4	1	
Poids-lourd	4	1		2		
Obstacle fixe	20	3		2	14 (talus = 6)	4
Fossé		1			12	2
Aucun					19	

LE MAINTIEN PAR LA CEINTURE DE SECURITE

Type de choc Port de ceinture	Frontal	Latéral D	Latéral G	Arrière	Retourn.	Ejection
Avec ceinture	4	1		2	3	
Sans ceinture	25	3	2	3	23	6
Indéterminé	3	2		3	20	

L'EXISTENCE DE RETOURNEMENT, EJECTION, OU RETOURNEMENT + EJECTION
SECONDAIRES A LA COLLISION PRINCIPALE

Type de choc Circons- tances	Frontal	Latéral D	Latéral G	Arrière	Retourn.
Ejection	7	1		1	26
Retournem.	3	2	1	1	-
Retournem. puis éjection	2			1	-
Le choc est pur	20	3	1	5	20

Ces résultats seront analysés dans le chapitre concernant l'accidentologie.

CRITIQUE A POSTERIORI DU QUESTIONNAIRE

Les réponses obtenues nous ont inspiré les réflexions suivantes :

- Question 1 : il n'a pas été demandé de préciser l'heure de survenue de l'accident et pourtant cette notion aurait trouvé son intérêt dans le chapitre portant sur la prévention

- Questions 2, 3, 4 : nous avons espéré obtenir des précisions permettant une étude approfondie des circonstances à partir des constats des forces de police, cependant la diversité des réponses, leur imprécision, n'a pas permis de l'effectuer et notamment de connaître l'énergie cinétique dissipée suivant les directions de choc analysées

- Question 5 : nous aurions dû demander des précisions portant sur la marque et le type du véhicule, ces notions prenant une grande importance dans l'étude des éjections.

- Question 8 : par une question "au second degré" nous voulions savoir si les passagers portaient la ceinture de sécurité. Nous avons obtenu des réponses inexploitable dans de nombreux cas. Seules les réponses "je ne portais pas de ceinture de sécurité" ou "je portais la ceinture de sécurité et elle a aggravé les lésions, ou a été responsable de la lésion" sont fiables ; même si le sujet affirme qu'il était maintenu, on ne peut le croire et seule l'analyse des impacts corporels ou portés sur le véhicule, effectuée par des spécialistes, sont dignes de foi. Il faut souligner que le constat des forces de police n'est que l'expression de la déposition des passagers et ne peut être considéré comme le déroulement exact des faits.

- Questions 7, 10 : plusieurs questionnaires ont été écartés car il n'a pas été possible d'établir si l'éjection était primitive ou secondaire par rapport au retournement.

Avant d'aborder l'étude des dossiers clinique et radiologique pour une meilleure compréhension, il nous faut commencer par un rappel anatomique.

ETUDE ANATOMOCLINIQUE DES LESIONS VERTEBROMEDULLAIRES

RAPPEL ANATOMIQUE ET BIOMÉCANIQUE CONCERNANT L'AXE VERTÉBRO- MÉDULLAIRE (31) (43) (72) (109)

LE RACHIS

C'est un des ensembles parmi les plus complexes de l'appareil locomoteur à la fois dans sa structure et dans sa fonction.

Le rachis est un tube déformable à architecture segmentaire formant une chaîne polyarticulée ; c'est dire d'emblée l'importance considérable des formations musculaires périrachidiennes dans la biomécanique du rachis. Il importe également d'insister sur son rôle protecteur vis-à-vis des structures nobles du névraxe.

L'axe vertébral doit donc répondre à deux impératifs contradictoires : celui de mobilité adaptée aux mouvements du corps et celui de rigidité grâce à un puissant appareil ligamentaire, à un haubannage musculaire diversifié et à la présence de courbures dans le plan sagittal.

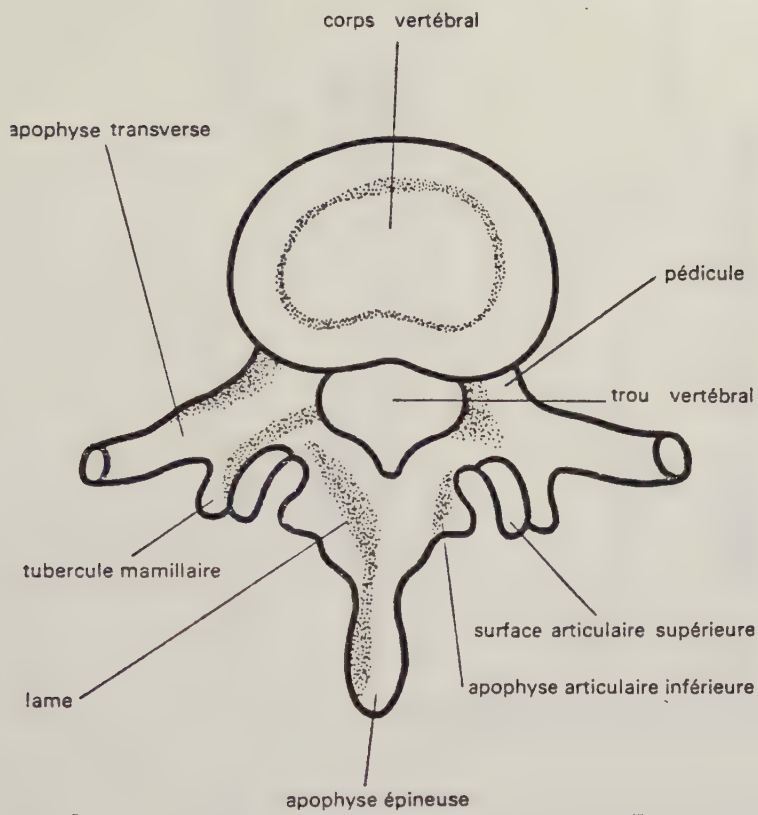
Les composants ostéoarticulaires

La vertèbre et ses articulations

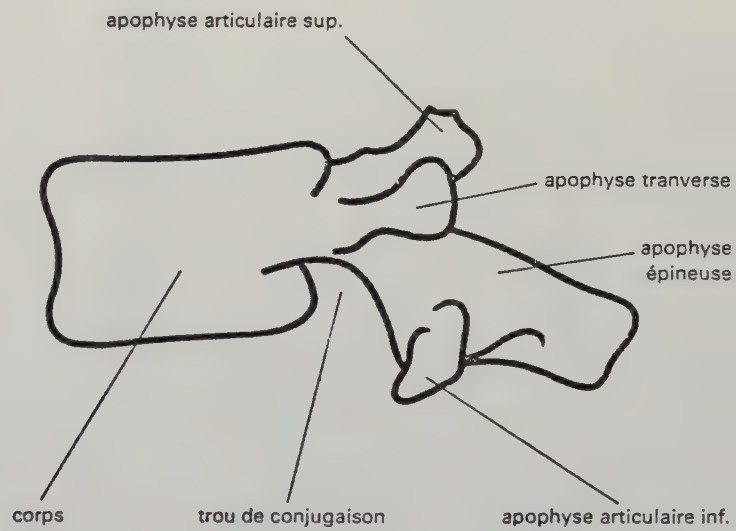
Ses éléments constitutifs ont un rapport très étroit avec la fonction biomécanique ; la vertèbre est formée d'une partie antérieure (le corps) et d'une partie rétrocorporéale (l'arc postérieur).

- le corps vertébral

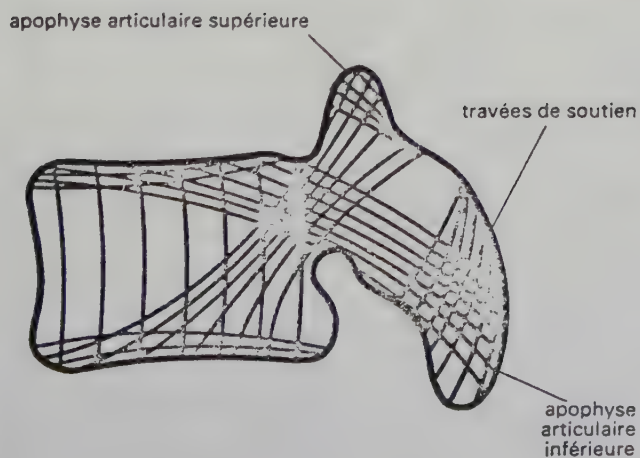
Il est constitué d'os spongieux entouré d'os cortical dense ; son volume s'accroît depuis le rachis cervical jusqu'au sacrum en relation avec l'augmentation de la charge. Nous l'étudions à chaque niveau :



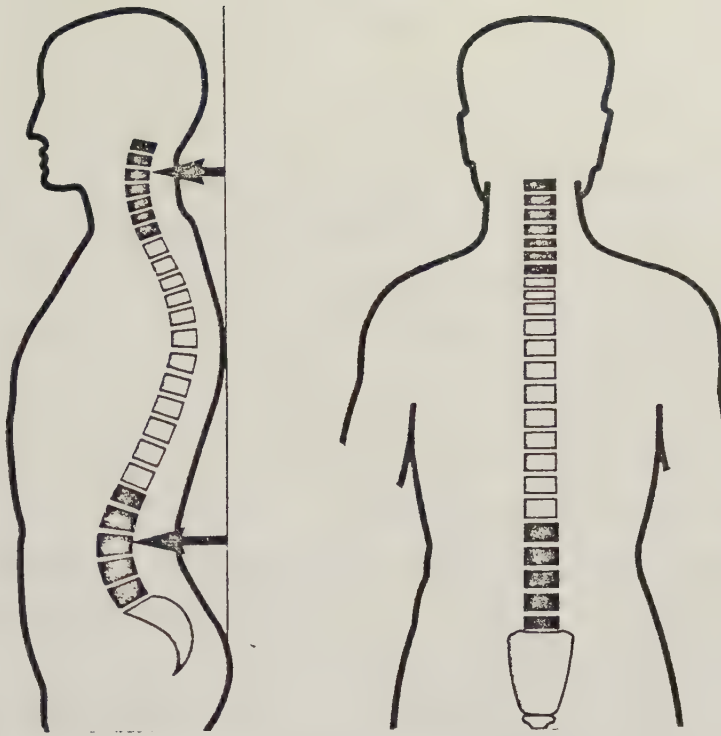
- Vertèbre lombaire, vue supérieure.



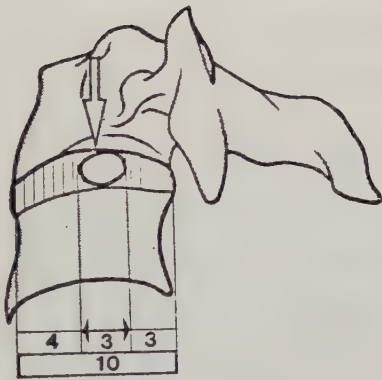
- Vertèbre lombaire de profil.



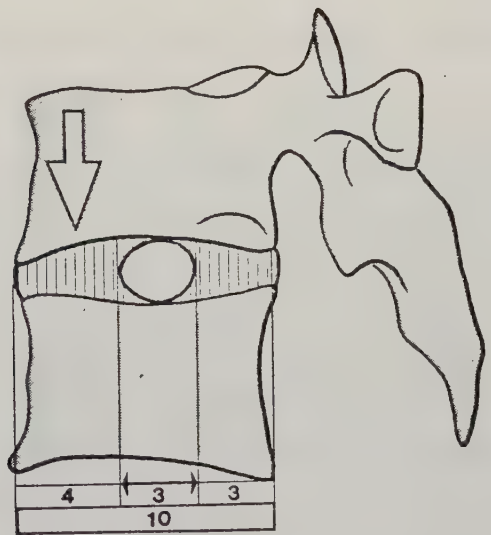
- Architecture interne d'une vertèbre lombaire (d'après Paturet).



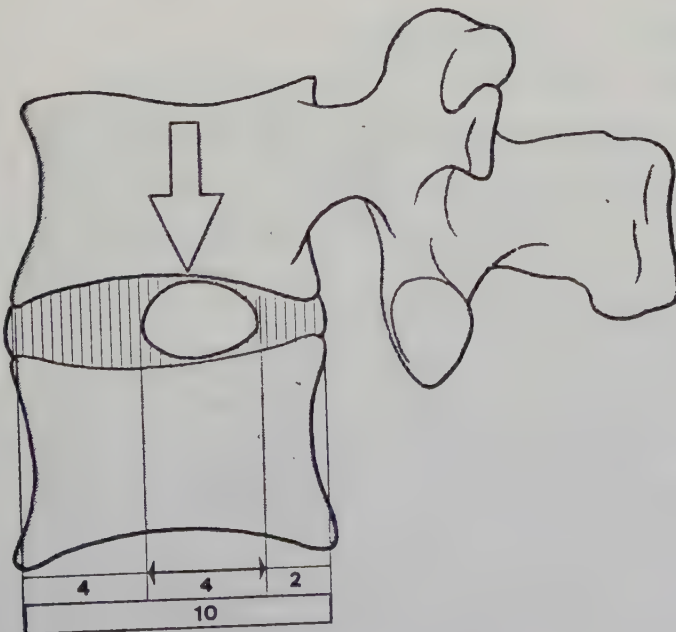
- Les courbures vertébrales (d'après Troisier).



CERVICAL



DORSAL



LOMBAIRE

au niveau cervical :

- l'atlas (C1) ne comporte pas de corps vertébral mais deux arcs symétriques, antérieur et postérieur
- le corps de l'axis (C2) présente en son centre l'apophyse odontoïde, correspondant au résidu embryologique de l'atlas, secondairement détaché de celui-ci et devenu solidaire de l'axis
- quant au corps des autres vertèbres cervicales, il est prolongé latéralement d'apophyses unciformes dont la facette articulaire s'oriente vers le haut et en dedans ; le méplat supérieur est dirigé vers le haut et en avant, un bec prolonge en bas et en avant le bord antérieur du plateau inférieur

à l'étage dorsal :

- le corps vertébral est cylindrique alors qu'au niveau lombaire il est réniforme, plus large que haut.

La structure corporelle permet de comprendre les conséquences des différents types de traumatismes.

★ Le tissu spongieux, constitué de travées osseuses et de tissus interstitiels, se répartit selon des lignes de force verticales unissant les plateaux supérieur et inférieur, horizontales unissant les corticales latérales, obliques entre plateaux et corticales, entre plateaux et arc postérieur (fibres en éventail). L'entrecroisement de ces travées constitue des points de grande résistance, mais aussi un point de moindre résistance entre les bords antérieurs des plateaux (où n'existent que des travées verticales).

La structure de cet os trabéculaire est donc particulièrement adaptée à la compression puisque certains auteurs (48) ont montré, notamment au niveau lombaire, que sa résistance ne diminuait pas même lorsque la charge compressive fracturaire était dépassée, bien sûr dans des proportions moyennes.

L'os spongieux admet une déformation de 9,5 % de sa hauteur avant que n'apparaissent des zones microfracturaires, alors que la zone corticale n'admet que 2 %. Cette qualité est due avant tout au tissu interstitiel qui agit comme un coussin hydraulique, ceci est particulièrement vrai pour des charges importantes.

★ La corticale, constituée d'os dense au niveau des plateaux, est plus épaisse en son centre où existe une zone cartilagineuse et s'élève sur la périphérie créant le listel marginal ; il subit les plus fortes contraintes compressives verticales transmises par l'annulus (et non par le nucleus pulposus du disque intervertébral). Par contre, dans les mouvements d'inflexion, les forces s'exercent au maximum au centre du plateau.

L'influence de l'âge est très grande sur la qualité de ces diverses structures : en effet, si en moyenne, avant 40 ans il existe 55 % d'os spongieux contre 45 % d'os cortical, après 40 ans les pourcentages s'inversent de 35 et 65 % (ostéoporose) d'où une diminution de la résistance des vertèbres. Cette décroissance est surtout marquée entre 20 et 40 ans, puis elle s'atténue et se fait surtout aux dépens des travées horizontales de la zone corporelle centrale.

- l'arc postérieur

Il a une forme en fer à cheval circonscrivant avec la face postérieure du corps vertébral, un orifice : le trou vertébral. Quatre saillies verticales, les apophyses articulaires délimitent en avant les pédicules, en arrière les lames ; sur la ligne médiane postérieure vient se fixer l'apophyse épineuse, les apophyses transverses se soudent à peu près à la hauteur du massif des articulaires.

au niveau du rachis cervical :

- la facette supérieure des apophyses articulaires est orientée en haut et en arrière et la facette inférieure en bas et en avant
- l'apophyse épineuse est oblique en bas et en arrière

le rachis dorsal présente :

- des facettes d'apophyses articulaires supérieures dirigées en haut et légèrement en dehors
- la douzième vertèbre dorsale est particulière car ses apophyses articulaires supérieures sont de type thoracique alors que les inférieures sont de type lombaire
- les apophyses épineuses sont très inclinées en bas et en arrière et s'imbriquent comme les tuiles d'un toit

au niveau du rachis lombaire :

- les apophyses articulaires supérieures regardent en arrière et en dedans
- l'apophyse épineuse est haute et horizontale

L'arc postérieur a été l'objet de nombreuses études biomécaniques, les pédicules en sont les éléments les plus fragiles. Quant aux apophyses articulaires, elles portent les diarthroses postérieures, qui sont là pour canaliser les déplacements grâce à leur orientation particulière, nous le verrons, et pour limiter par un effet de butée les conséquences des mouvements de trop grande amplitude ; leur position centrale leur donne un rôle de levier entre les apophyses épineuses et le corps. Les expériences nous ont appris que :

- en charge, les apophyses articulaires peuvent subir des contraintes de 0 à 33 % de la pression totale appliquée sur la vertèbre
- en rotation, le disque et les ligaments longitudinaux, les articulaires postérieures supportent chacun 45 % de la force, les 10 % restants sont transmis au ligament interépineux
- sur des préparations anatomiques où les articulations postérieures sont supprimées, il y a une augmentation de 80 % des possibilités de flexion-extension, et ce, dans la région dorsale haute, dans la partie basse, le gain n'est que de 15 %.
- dans une autre expérience, la section des disques et des ligaments longitudinaux, antérieur et postérieur, au niveau cervical, permet un gain de flexion de 33 % ; si la rupture concerne en outre les apophyses articulaires, il est de 140 %
- les apophyses articulaires jouent ainsi un rôle important dans la stabilité du rachis notamment en flexion. L'orientation des facettes articulaires y contribue par un rôle de butée.

Un élément supplémentaire, le processus costal, est présent à tous les étages :

- au niveau cervical, il donne le tubercule antérieur de l'apophyse transverse
- au niveau dorsal, c'est le barreau costal de la cage thoracique

- au niveau lombaire, ce sont les apophyses costiformes
- alors qu'au niveau inférieur, il se perd dans l'aileron sacré.

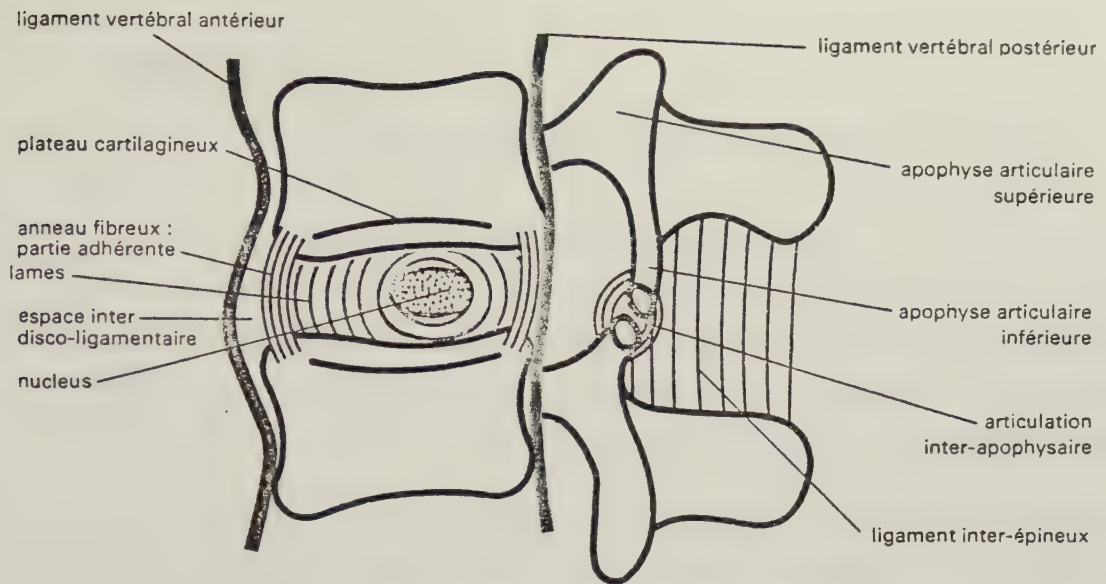
- Le complexe articulaire intervertébral est constitué d'une amphiarthrose antérieure (articulation semi-mobile) et de deux diarthroses postérieures (articulations mobiles). Ces dernières sont reliées par des ligaments, nous le verrons dans le chapitre suivant, alors que l'articulation intercorporéale s'établit par l'intermédiaire du disque.

Le disque intervertébral est un exemple parfait d'amortisseur physiologique. Il comporte un anneau fibreux périphérique et une zone centrale de tissu conjonctif de type particulier.

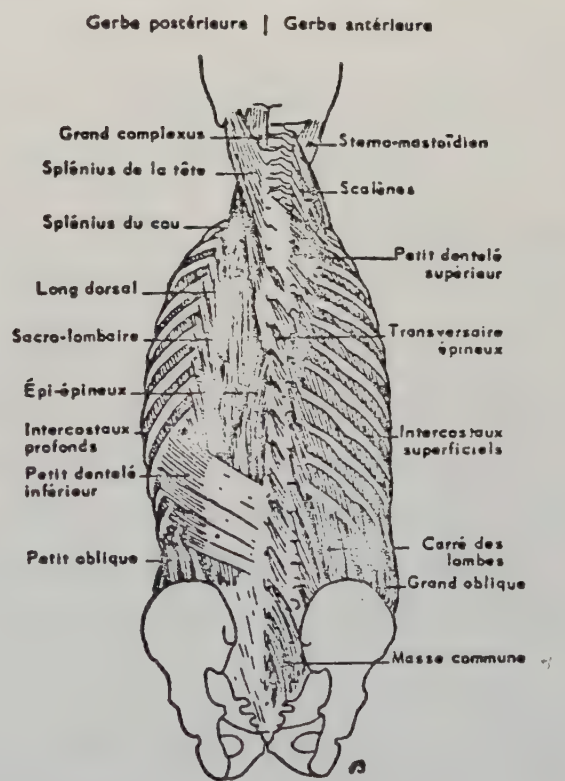
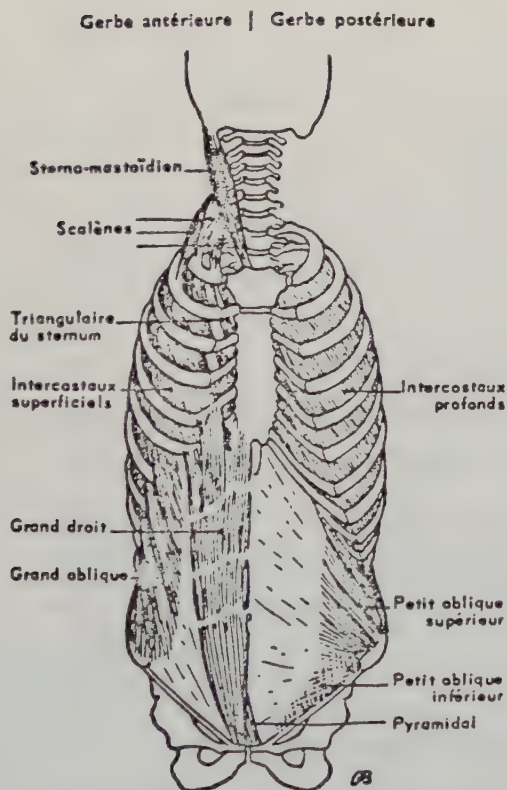
L'anneau fibreux est solidement amarré aux plateaux vertébraux. Il présente une orientation des fibres conjonctives tridirectionnelle de type hélicoïdal capable de lutter très efficacement contre les contraintes en compression, traction, flexion, torsion et cisaillement auxquelles l'articulation est soumise en permanence. Le disque, grâce à sa plasticité, peut subir des protrusions physiologiques lors des divers mouvements (par exemple 1,75mm pour 6° de flexion au niveau lombaire (109) dans la concavité, alors qu'il existe un recul du côté convexe).

Quant au nucleus pulposus, il est composé d'un tissu gélatineux plus lâche et surtout très hydrophile. Se trouvant enfermé dans une poche étanche réalisant un joint hydrostatique, il agit comme un répartiteur de pression dans le sens horizontal sur l'anneau.

Ces diverses caractéristiques discales, notamment dans la capacité à supporter des contraintes importantes, puis à se détendre, s'émoussent à la suite d'efforts itératifs. La tolérance à la fatigue a été explorée (13) : les auteurs ont appliqué une charge axiale minime et ont répété un mouvement de flexion au niveau lombosacré : le disque présentait un affaissement important après 200 exercices et s'est rompu après mille cycles. Le disque est donc plus fragile après un long trajet automobile. D'autre part, l'âge du sujet avançant, les propriétés plastiques disparaissent et le joint intercorporéal subit plus difficilement les mouvements, notamment de torsion et de cisaillement.



- Disque intervertébral et ligaments, coupe sagittale (d'après de Sèze).



Gerbes musculaires antérieure et postérieure, présentée par moitié, de face (dessin de gauche), puis de dos

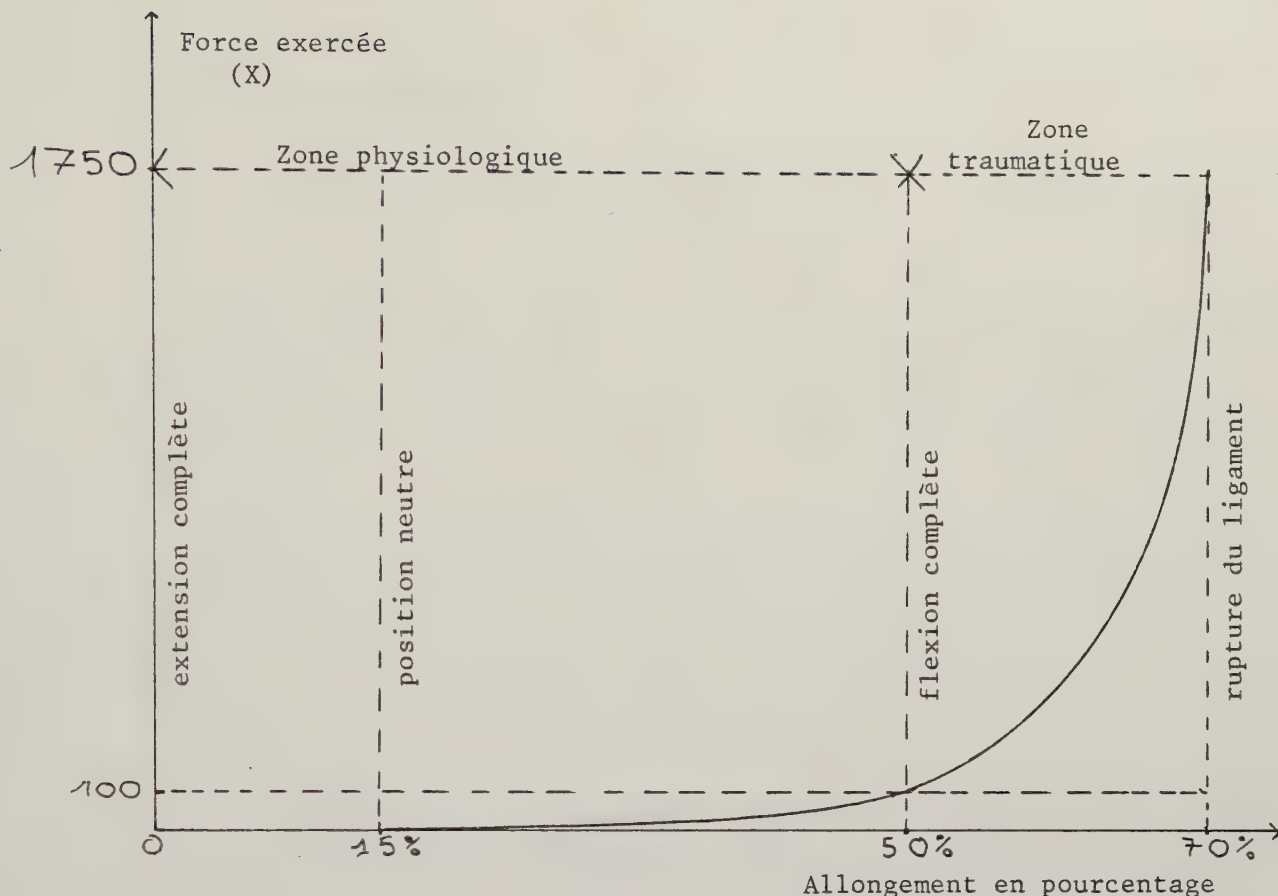
(D'après Bellugue)

Les ligaments

Ce sont des freins passifs des mouvements, il en existe sept types :

- les grands ligaments vertébraux communs antérieur et postérieur par rapport au corps ; ils s'étendent d'une extrémité à l'autre du rachis. En position de repos (position debout), les courbures rachidiennes étant harmonieusement développées, ces ligaments présentent un état de précontrainte égal au dixième de celui du ligament jaune
- les ligaments intertransversaires, particulièrement développés à l'étage lombaire, représentent des freins efficaces de la rotation et de la latéroflexion
- les ligaments des articulations interapophysaires, leurs fibres sont orientées perpendiculairement au plan des facettes, ils sont plus lâches au niveau cervical et permettent une meilleure rotation du rachis
- les ligaments inter et surépineux, à l'étage cervical le premier est tenu alors que le deuxième est particulièrement développé
- le ligament jaune s'insère entre les lames de vertèbres adjacentes, du bord antéroinférieur de la lame supérieure au bord postérosupérieur de la lame inférieure. Il est plus développé sur le rachis dorsal, ses fibres possèdent l'élasticité la plus importante de tous les tissus humains. A l'état de repos, il présente une précontrainte interprétée par certains auteurs comme une protection contre l'intrusion intracanaulaire lors de l'extension dans les limites physiologiques. En effet, sa situation postérieure par rapport aux axes horizontaux de flexion et d'extension fait qu'il est tendu dans le premier cas et détendu dans le deuxième.

La capacité à subir des tensions a bien été étudiée au niveau du ligament jaune (64).



(d'après A. NACHEMSON et J. EVANS)

Les ligaments jouent donc un rôle différent selon les circonstances. Dans les limites physiologiques, ils présentent un minimum de résistance et de perte d'énergie ; alors qu'ils peuvent développer une contrainte 18 fois plus grande pour une augmentation de 20 % de la tension (pour le ligament jaune) lors des situations traumatisantes. Ils participent ainsi, en grande partie, à la protection médullaire, d'autant plus que leur résistance à la rupture est supérieure à celle de l'os. Ces qualités s'estompent dans des proportions importantes avec le vieillissement.

La statique rachidienne

Le rachis présente une série d'inflexions inversées ; inscrites dans le plan sagittal, elles apparaissent à partir de la période de mise en charge du corps. Leur rôle est double :

- elles augmentent la résistance à la pression axiale qui, selon la loi d'EULER est proportionnelle au carré du nombre des courbures plus 1, ainsi le rachis est 10 fois plus résistant qu'une colonne rectiligne

- d'autre part, elles préorientent la déformation qui devient, de ce fait, prévisible et contrôlable grâce à des haubans musculoligamentaires. Il existe ainsi, en position debout, une lordose cervicale, une cyphose dorsale, une lordose lombaire. Elles sont liées aux caractéristiques vertébrales ligamentaires et à l'activité des muscles.

Cette statique rachidienne se modifie dans la position assise, qui correspond à celle du passager automobile et peut affecter plusieurs modalités qui dépendent de la forme du siège et de l'attitude du sujet. D'une façon générale, la position sera d'autant moins fatigante qu'elle assurera un meilleur appui au tronc et à la tête (grâce à des contractions musculaires minimales).

Ces conditions sont au mieux réalisées lorsque le siège est large et muni d'un dossier légèrement incliné en arrière avec un appui-tête ; la lordose lombaire est alors réduite. Dans la position assise, les muscles de la région lombaire ne présentent pas une augmentation d'activité par rapport à la station debout (le psoas notamment est relâché) alors que les muscles dorsaux sont plus actifs.

La cinématique rachidienne (31) (43) (75) (109)

Les mouvements dans les trois plans de l'espace

- pour l'ensemble du rachis :

- . dans le plan sagittal : flexion + extension
- . dans le plan frontal : inclinaison latérale
- . dans le plan horizontal : torsion

- les mouvements entre deux vertèbres adjacentes sont de faible amplitude
 - . glissement antéropostérieur
 - . glissement transversal
 - . rapprochement ou écartement des vertèbres selon l'axe vertical
- les mouvements rachidiens correspondent à la sommation des déplacements intersegmentaires ; ils ne sont cependant pas uniformes, ainsi apparaissent des "charnières fonctionnelles" (étudiées dans le chapitre biomécanique) sur lesquelles agissent les moteurs que sont les muscles.

L'activité musculaire

Les muscles principaux mis en jeu sont :

- . les muscles de la paroi postérieure du tronc et du cou répartis en 3 groupes de structure complexe, en arrière des gouttières vertébrales, dans le plan des apophyses transverses vertébrales, en avant de ces apophyses. Dans le groupe postérieur, on remarque particulièrement les muscles sacrolombaire , long dorsal, grand dorsal et trapèze; dans le groupe moyen les muscles scalènes, dans le groupe antérieur le muscle psoas iliaque et le long du cou
- . les muscles antérieurs du cou
- . les muscles abdominaux

L'électromyographie a permis de préciser l'activité propre de chaque muscle lors des divers mouvements du rachis.

Lors de la flexion, les muscles paravertébraux (groupe postérieur) jouent un rôle de frein et leur activité est surtout excentrique. En flexion extrême, ils deviennent inactifs, à l'exception du sacrolombaire.

L'extension complète voit une augmentation minime de l'activité des muscles paravertébraux alors que les abdominaux présentent une contraction excentrique. Dans l'extension contre résistance, la région lombaire est celle qui lutte le plus efficacement.

En flexion latérale, les muscles travaillent des deux côtés, mais particulièrement dans la concavité.

De même, lors de la rotation axiale, les deux côtés sont sollicités surtout dans la région thoracique. Les muscles abdominaux sont légèrement activés.

L'étude cinétique segmentaire

Bien que l'axe vertébral se comporte comme un tout dans chacun de ses mouvements, la cinématique de chaque région doit être analysée, avec ses particularités, pour une meilleure compréhension de la physiopathologie des lésions traumatiques.

Le rachis cervical : sa conception est directement liée au port du mobile lourd que constitue la tête, mais il est aussi adapté à l'orientation dans un espace le plus ouvert possible, des organes sensoriels (principalement la vue) portés par le segment céphalique.

Nous négligerons la mécanique de l'articulation occipito-atloïdienne pour nous intéresser à l'articulation atloïdo-axoïdienne :

- elle s'établit grâce à trois liaisons mécaniquement liées, l'une axiale atloïdo-odontoïdienne et deux latérales atloïdo-axoïdiennes
- la flexion et l'extension s'effectuent par roulement et glissement des surfaces articulaires entre elles, l'apophyse odontoïde étant emprisonnée entre l'arc antérieur de C1 en avant et le ligament transverse
- les mouvements de rotation s'effectuent selon l'axe de l'odontoïde ;

Au niveau du rachis cervical inférieur :

- l'extension chasse le nucleus pulposus vers l'avant et est bloquée par les contacts osseux postérieurs
- la flexion rejette le nucleus en arrière et seule la tension ligamentaire l'arrête
- en hyperflexion ou hyperextension, les plateaux contigus de deux vertèbres cervicales réalisent un angle de 7 à 11°. En hyperflexion,

on observe un antelisthesis physiologique des corps (2 à 3,5 mm au-dessus de C4, inférieur à 2 mm au-dessous de C4) ainsi qu'un découvrément des articulaires inférieures de 50 %, amorce de luxation

- l'inclinaison latérale et la rotation ont des axes déterminés par l'orientation des facettes des apophyses articulaires. Elle ne permettent pas de mouvements purs mais uniquement mixtes s'associant à une composante d'extension.

Le rachis dorsal : sa partie supérieure s'apparente à la dynamique cervicale et la partie inférieure à celle du rachis lombaire.

Son organisation est dictée par l'adaptation à la fonction ventilatoire ; les amplitudes sont limitées par la cage thoracique.

Lors de la flexion, on assiste à une ouverture de l'espace intervertébral en arrière, la limitation se fait grâce aux ligaments et capsules.

L'extension s'arrête lors de la butée des apophyses articulaires et des épineuses qui, très inclinées en arrière et en bas, sont presque en contact en position neutre.

L'inclinaison latérale s'effectue par glissement différentiel des articulations interapophysaires (presque nul du côté de l'inclinaison, il est marqué du côté opposé). Elle est limitée par la butée des apophyses articulaires du côté de la concavité et par la tension des ligaments du côté convexe.

La rotation est centrée sur un axe situé à peu près au centre du corps vertébral étant donnée l'orientation des articulations postérieures. Ainsi, assiste-t-on à une rotation-torsion au niveau des disques ; entre deux vertèbres, elle est au moins trois fois plus importante qu'entre deux vertèbres lombaires, tout en étant limitée par le jeu costal (et pourra donc être bien plus ample lors de la rupture traumatique du cerceau costo-sternal).

La caractéristique essentielle du rachis lombaire réside dans le fait qu'il porte la majeure partie de la charge céphalo-thoracique, tout en permettant des mouvements d'amplitude importante grâce à la grande épaisseur du disque intervertébral ; les éléments musculaires sont ici particulièrement développés.

La flexion, limitée par les tensions ligamentaires et capsulaires, chasse le disque en arrière vers le grand ligament commun vertébral postérieur fortement tendu.

L'extension s'arrête sur des butées osseuses et par mise en tension du grand ligament commun vertébral antérieur. Elle déplace le nucleus pulposus vers l'avant.

Lors de l'inflexion latérale, on remarque un glissement différentiel des apophyses articulaires.

A ce niveau, orientées en arrière et en dedans, elles guident la rotation de telle sorte que son centre se trouve à la base de l'apophyse épineuse. Le disque n'est plus sollicité en torsion axiale comme à l'étage thoracique mais en cisaillement, mécanisme particulièrement limitant. Signalons que la région de plus grande résistance à la torsion est située entre D12 et L1.

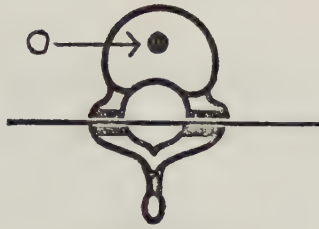
Rôle de L3 et de D12 (43) :

- . la 3e vertèbre lombaire est un relais musculaire postérieur entre, d'une part, les faisceaux lombaires du grand dorsal venant de l'os iliaque et s'insérant sur les apophyses transverses de L3 et, d'autre part, les faisceaux de l'épi épineux tendu contre l'épineuse de L3 et les vertèbres dorsales. Cette vertèbre est ainsi tirée en arrière par les muscles à insertion supérieure et inférieure
- . D12 est un point d'inflexion entre cyphose dorsale et lordose lombaire. A. DELMAS en fait une véritable rotule de l'axe rachidien.

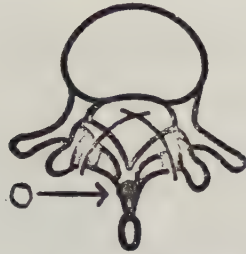
L'inflexion latérale s'accompagne d'une rotation automatique. Les corps vertébraux subissent une rotation sur eux-mêmes de telle sorte que leur ligne médiane antérieure se déplace vers la convexité de la courbure. Ceci s'explique par la compression des disques du côté



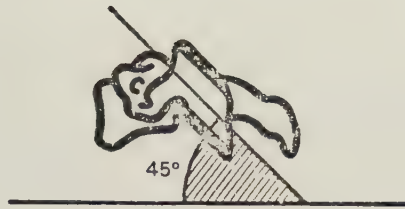
Vertèbre cervicale



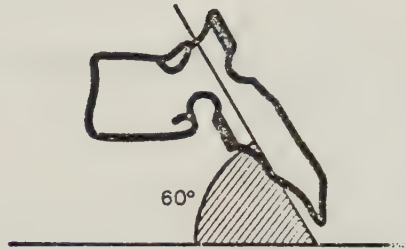
Vertèbre dorsale



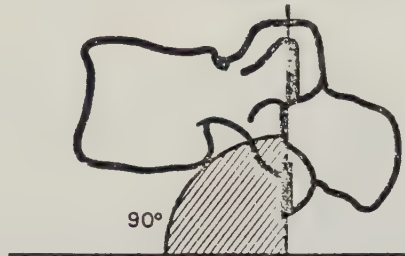
Vertèbre lombaire



45°



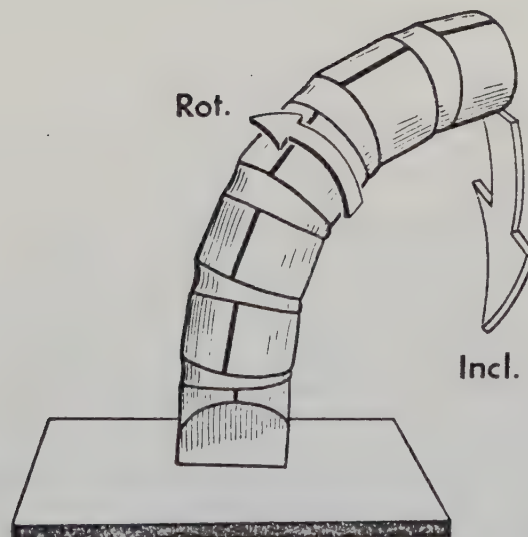
60°



90°

— Orientation et inclinaison des surfaces articulaires postérieures selon les étages vertébraux (d'après Olivier et Maigne).

○ : centre de rotation



mouvements d'inclinaison combinés à des mouvements de rotation et d'extension.

A. KAPANDJI

concave et l'expansion du côté convexe et par la mise en tension des ligaments de la convexité, qui se déplacent vers la ligne médiane pour emprunter le trajet le plus court.

LES FORMATIONS NEUROLOGIQUES INTRACANALAIRES : LA MOELLE EPINIÈRE ET LES RACINES RACHIDIENNES

Aspects et rapports (81)

La moelle épinière

Elle revêt l'aspect d'une tige de 45 cm de long en moyenne chez l'homme, de 42 cm chez la femme, de 1 cm de large et d'une épaisseur de 8 mm.

Elle présente deux renflements, l'un cervical entre les vertèbres C4 et D1, l'autre lombaire entre les vertèbres D10 et L1.

Au-dessous du renflement lombaire, la moelle se rétrécit très vite et se termine par une extrémité conique à sommet inférieur : le cône terminal. Un segment rudimentaire, grêle, filiforme, lui fait suite, le filum terminale qui va s'insérer sur la face postérieure du coccyx.

Les rapports de l'axe médullaire avec les vertèbres sont sujets à variations individuelles. Cependant on admet que sa limite supérieure est située au niveau de C1 où elle fait suite au bulbe au niveau de l'extrémité inférieure de la décussation des pyramides. Son extrémité inférieure est située à la hauteur de L2.

La moelle épinière est séparée des parois osseuses par les méninges, du tissu adipeux et les plexus veineux intrarachidiens.

Ses rapports avec les vertèbres sont caractérisés par un décalage entre les segments osseux et médullaire de même dénomination métamérique, lié à une différence de croissance entre les deux. La moelle cervicale répond aux trois premières vertèbres cervicales, la moelle dorsale haute s'étend de C4 à D1, la moelle dorsale basse s'étend de D2 à D9, la moelle lombaire répond à D10-D11-D12, la moelle sacrée correspond à L1, le cône médullaire est à la hauteur du disque L1L2.

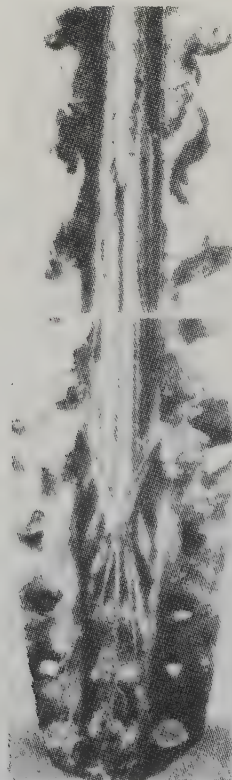
Vues anatomiques de la moelle épinière



Moelle cervicale



Moelle dorsale



Cône médullaire et queue de cheval

- Coupe sagittale de la moelle et du rachis.

Rapports des segments médullaires et des racines nerveuses avec les vertèbres;
origine et constitution des plexus (d'après T. Delmas et A. Delmas).

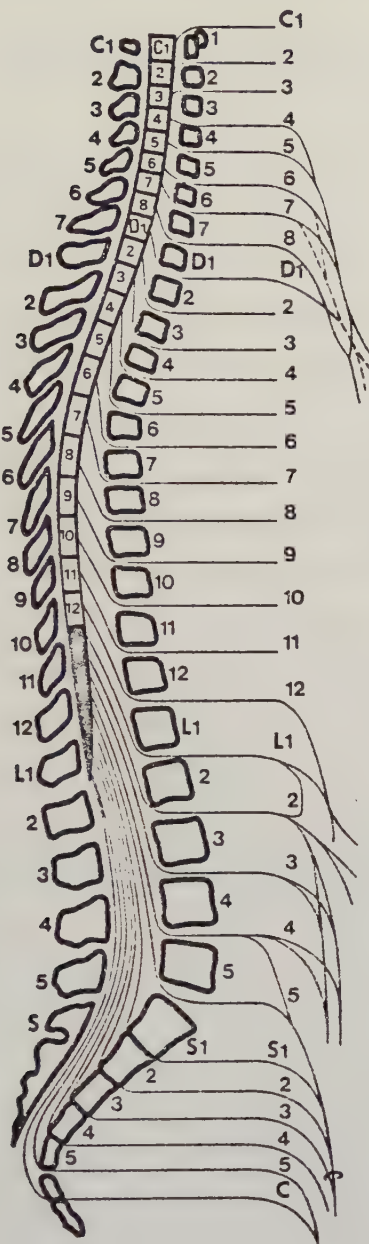
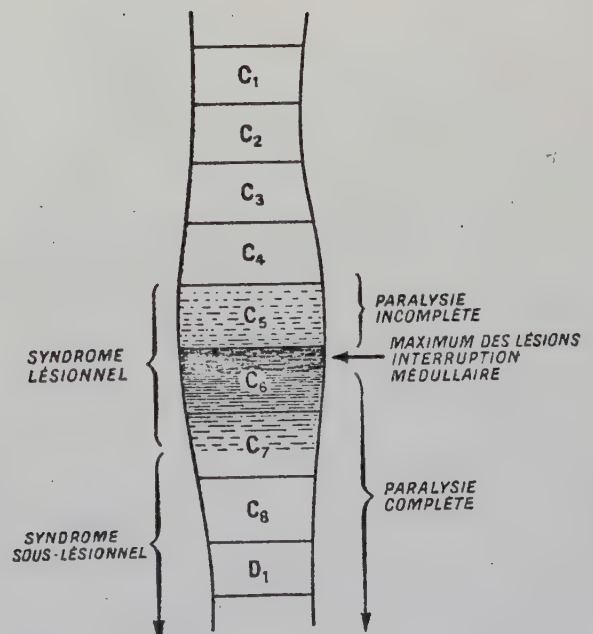


Schéma de lésion médullaire tétraplégie C5 (limite supérieure).



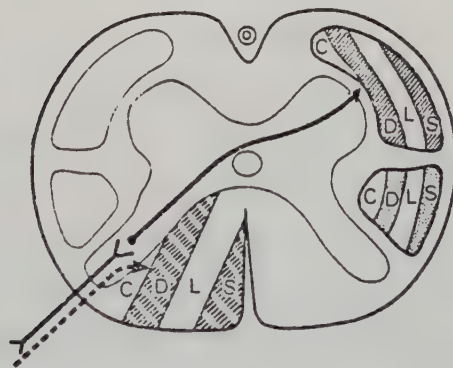
- incomplète en C5
- complète à partir de C6

Les racines des nerfs rachidiens

Elles naissent des faces latérales de la moelle : la racine antérieure a une fonction motrice, la racine postérieure a une fonction sensitive, et présente sur son trajet le ganglion spinal. Ces deux racines convergent vers le trou de conjugaison correspondant, le traversent et s'unissent en dehors du ganglion spinal à l'extrémité externe de ce canal osseux.

Le décalage vertébro-médullaire explique que la direction des racines varie selon les étages : les premières sont horizontales, puis en descendant le long de l'axe rachidien elles se dirigent obliquement en bas et en dehors, leur obliquité augmentant progressivement de haut en bas ; les racines des derniers nerfs lombaires et sacroco-cygiens sont à peu près verticales et forment autour du cône terminal et du "filum terminale" un volumineux faisceau de cordons nerveux : la queue de cheval.

Configuration intérieure de la moelle épinière et physiologie



(d'après P. MINAIRE)

Fig. 1. En haut à droite : fibres de la sensibilité thermique et douloureuse. En haut à droite : fibres radiculaires longues, sensibilité profonde et épicritique, cordons postérieurs, faisceau de Golj et Burdach. En bas à gauche : faisceau pyramidal croisé.

C = cervical; D = dorsal; L = lombaire; S = sacré

Rappel de vascularisation médullaire (47)

Il est indispensable pour comprendre la pathologie topographique différente selon le siège des lésions médullaires en cause.

Anatomie du système artériel extramédullaire

La vascularisation artérielle est fournie par plusieurs vaisseaux pénétrant sur toute la hauteur du rachis dans le canal vertébral

- . dans la région cervicale, principalement à partir des artères vertébrales
- . aux étages dorsal et lombaire à partir de collatérales pariétales de l'aorte
- . dans la région sacrée, elle naît de l'artère hypogastrique.

Les artères radiculaires pénètrent par le trou de conjugaison donnent naissance aux radiculo-piémériennes et aux radiculomédullaires antérieures et postérieures.

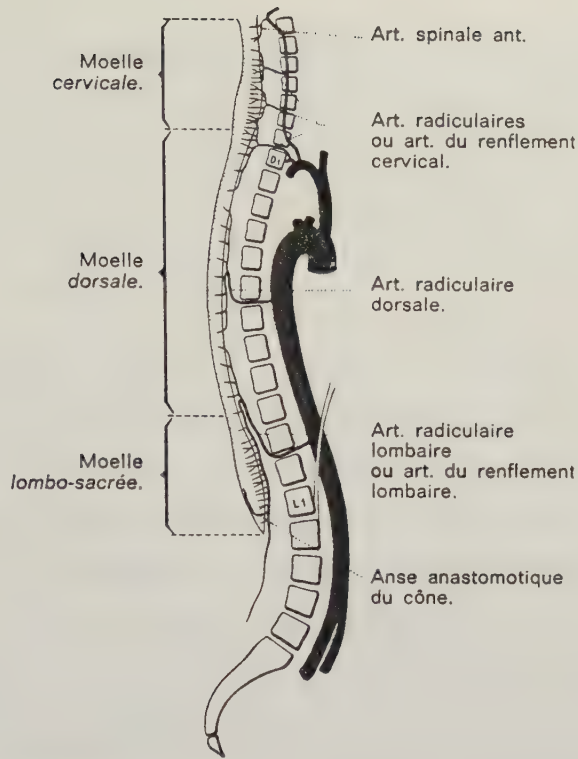
Ces vaisseaux s'unissant entre eux au contact de la moelle pour créer des voies longitudinales, horizontales ou obliques d'anastomose, le tout constituant le réseau artériel coronaire, il s'en détache les rameaux intramédullaires.

On décrit trois voies verticales principales, une médiane, située au niveau du sillon antérieur, c'est la voie spinale antérieure et deux latérales symétriquement placées dans l'axe des racines postérieures, ce sont les voies spinales postérieures.

La notion d'anastomose est virtuelle. Les anatomistes ont montré que les artères longitudinales sont souvent discontinues, notamment à la limite des grands territoires d'irrigation.

En effet, l'irrigation médullaire reconnaît trois grands territoires : cervicodorsal haut, dorsal moyen et dorsal bas, lombaire

- territoire supérieur : la moelle cervicale et les deux ou trois premiers segments thoraciques. Il est alimenté par des artères naissant de la vertébrale des cervicales profonde et ascendante, du tronc cervico-intercostal, créant un riche réseau artériel



— Les trois territoires de la vascularisation artérielle de la moelle épinière. (G. LAZORTHES, 1957.)

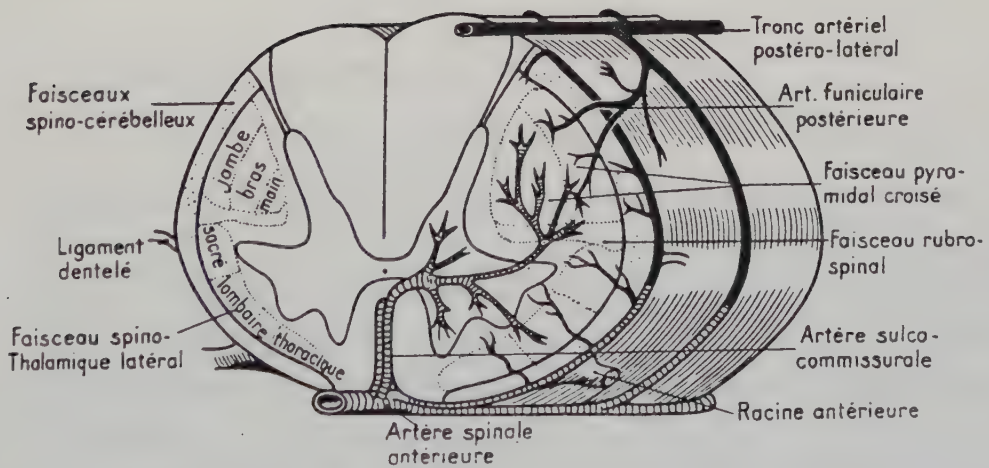


FIG. 57. — Vascularisation de la moelle.
(D'après R. C. SCHNEIDER et E. C. CROSBY, 1959.)

- territoire intermédiaire : du 3e au 9e segment thoracique. La vascularisation provient le plus souvent d'une seule artère radiculaire qui suit, dans la plupart des cas, la 5e ou la 6e racine thoracique et qui est habituellement située à gauche. A la différence des segments sus et sous-jacents, celui-ci est peu vascularisé et sans beaucoup de zones anastomotiques.

- territoire inférieur : les 3 ou 4 derniers segments thoraciques et la moelle lombosacrée. Sa vascularisation est riche, elle dépend en général d'une seule artère radiculaire : l'artère d'ADAMKIEWICZ. Ce vaisseau gagne habituellement le rachis par la gauche (85 % des cas selon G. LAZORTHES) et pénètre dans le canal rachidien suivant le plus souvent les nerfs rachidiens D9 à D12 (75 % des cas) mais aussi L1 ou L2 (10 %), D5 à D8 (15 %), alors existe une artère supplémentaire d'origine basse, qui s'anastomose avec le territoire de l'artère d'ADAMKIEWICZ. Cette dernière arrivée au contact de la moelle décrit une crosse en épingle à cheveu à concavité inférieure et se divise en deux terminales : l'une ascendante est grêle, l'autre inférieure plus importante s'anastomose à la partie terminale du cône, aux axes artériels spinaux antérieur et postérieurs formant l'anse anastomotique du cône.

Ainsi, deux zones frontières sont vascularisées par un réseau précaire : entre D1 et D4 et entre D7 et D9.

La distribution artérielle intramédullaire

Elle conserve une disposition comparable à chaque étage :

- . les spinales antérieures donnent naissance aux artères centrales. Elles sont particulièrement nombreuses au niveau des deux renflements cervical et lombaire. Leur territoire de vascularisation est égal en moyenne à une hauteur de 1, 2 à 3 cm selon les régions et dans le sens transversal approximativement aux 2/3 antérieurs de la moelle
- . les artères périphériques naissent du réseau périmédullaire et vascularisent le tiers postérieur de la moelle

- . les anastomoses entre ces deux systèmes sont nombreuses, ce qui fait que la zone la plus menacée par l'ischémie n'est pas la région intermédiaire mais un large territoire central péri-épendymaire et antérieur.

La circulation veineuse

Elle est caractérisée par un riche réseau et l'existence d'anastomoses.

Biomécanique de l'axe neurologique (109)

A l'intérieur du canal rachidien, la moelle épinière est protégée par les méninges (pie-mère, arachnoïde, dure-mère), par le liquide céphalo-rachidien (de l'espace sous-arachnoïdien) qui joue le rôle d'amortisseur, par la graisse de l'espace épidural, par la tension des racines rachidiennes et du ligament dentelé (qui, dans un plan frontal, unit dure-mère et pie-mère de chaque côté de la moelle).

En position debout de repos, l'axe médullaire ne suit pas strictement les courbures rachidiennes mais s'approche de la corde qu'elles sous-tendent autant que le permettent les structures protectrices.

Les éléments nerveux contenus dans le canal rachidien subissent les mouvements du rachis en se raccourcissant ou en s'allongeant à la manière d'un accordéon : l'élongation se fait par dépliage pour 75 %, puis lors des mouvements physiologiques d'amplitude maximale par étirement des tissus.

Au-delà de ces limites physiologiques, la moelle épinière oppose une grande résistance à la compression ou à l'étirement comme le réalise une structure cohésive semi-liquide.

Ces rappels d'anatomie fonctionnelle et de biomécanique concernant l'axe vertébro-médullaire éclairent la description des lésions et leurs conditions de survenue.

LÉSIONS OSTÉOARTICULAIRES

Nous introduirons d'abord la classification des niveaux osseux que nous avons utilisée, puis nous étudierons les types lésionnels et leurs mécanismes de survenue d'une façon générale puis par niveau.

LA CLASSIFICATION DES NIVEAUX OSSEUX (15) (58)

- région cervicale entre C1 et D1 inclus : C
- région dorsale haute entre D2 et D6 inclus : D.H.
- région dorsale basse de D7 à D11 inclus : D.B.
- charnière dorsolombaire D12 + L1 : Ch
- région lombosacrée de L2 à S5 : L.S.

LES TYPES DE LÉSIONS OSTÉOARTICULAIRES

- les fractures du corps de l'arc postérieur peuvent se réaliser à un seul niveau ou sur plusieurs vertèbres
- les luxations sont simples ou associées à une fracture (le plus souvent des apophyses articulaires). Elles peuvent être uniques ou multiples, unilatérales ou bilatérales
- les subluxations
 - . il existe une laxité anormale des articulations mais le déplacement des apophyses articulaires, même important, ne permet pas l'accrochage des articulaires inférieures de la vertèbre susjacent. Il n'y a pas de perte de contact complète des surfaces de liaison. Elles peuvent s'associer à des fractures ; avec les luxations, ce sont les lésions de l'adulte jeune
 - . la subluxation antérieure, qui s'associe à la rupture du complexe postérieur (apophyses articulaires + ligaments postérieurs), donne sur les radiographies quatre signes caractéristiques (107) :
 - élargissement de l'espace interépineux
 - subluxation intervertébrale avec ouverture des articulations interapophysaires
 - fracture compressive du corps
 - réduction de lordose (à l'étage cervical)

- les entorses

. elles concernent toutes les lésions des moyens d'union intervertébrale , consécutives à un mouvement forcé, sans fracture, ni perte de contact complète des surfaces articulaires (102)

. au niveau cervical, en particulier, on recherchera sur les radiographies, de petits signes évocateurs (84) : à l'étage supérieur existence d'un écart entre odontoïde et arc antérieur de C1. A l'étage inférieur, l'écart majoré entre épineuses, l'existence d'une angulation entre les facettes articulaires postérieures et la cyphose élective discale sont à mettre en évidence.

- les hernies discales traumatiques sont très souvent retrouvées lors des autopsies (4). La protusion discale est postérieure et menace alors moelle et artère spinale antérieure, elle est latérale et peut alors léser nerf rachidien et artère radiculomédullaire, parfois au niveau cervical l'artère vertébrale est exposée. On remarque sa particulière fréquence à cet étage (91).

L'influence du terrain sur lequel survient ce traumatisme a de l'importance puisque l'étude des résistances discoligamentaires montre une fragilité trois fois plus grande chez le sujet arthrosique. D'autre part, chez l'adulte, au niveau lombaire, les ligaments inter et surépineux sont fréquemment absents, rompus ou dégénérés. La dégénérescence du disque est un facteur de fragilisation et l'athérome réduit les suppléances possibles au niveau vasculaire. Il est aussi apparu que, plus un rachis est anatomiquement souple, plus il présente de résistance au traumatisme.

ETUDE LESIONNELLE PAR NIVEAU VERTEBRAL (80) (37) (32) (49)

Quelques chiffres sont à rappeler :

- une force de $1,03 \text{ kg/mm}^2$ est nécessaire pour créer une fracture par compression des vertèbres cervicales
- le rachis peut absorber au maximum une énergie de 10 kg/ms avant d'être lésé, notamment au niveau de L1

- la partie antérieure du corps vertébral lombaire s'écrase sous une force compressive axiale de 600 kg, mais pour faire céder le mur postérieur et créer une fracture tassement totale corporeale, la charge nécessaire est de 800 kg (43).

Le rachis cervical

Les fractures

Au niveau du rachis cervical supérieur C1C2 :

- . C1 peut présenter une rupture des deux arcs antérieur et postérieur associée à une rupture du ligament transverse, entraînant un glissement transversal divergent des deux masses latérales. Les arcs peuvent être fracturés séparément et les masses latérales tassées
- . C2 peut présenter des fractures du corps ou de la base de l'odontoïde, de l'arc postérieur

Au niveau du rachis cervical inférieur :

- . la fracture des corps vertébraux est parcellaire ou globale ("tear drop" fracture ou tassement cunéiforme)
- . la fracture des apophyses articulaires, épineuses, transverses, fracture séparation de JUDET

Les luxations

Avec L. FISCHER, J.P. CARRET et O.S. MILLAN, nous distinguons :

- la luxation complète avec accrochage des deux apophyses articulaires ; elle peut être accompagnée de fracture de la vertèbre susjacentes notamment d'une lame, d'une partie du corps et en cas d'association, il faut parler de luxation complète avec fracture de...
- la luxation complète unilatérale

Les mécanismes des lésions

Dans ce travail nous parlerons d'extension lorsque la partie supérieure du corps se déplace vers l'arrière à partir de la position debout. Les termes de flexion et d'extension prêtant à confusion selon les segments rachidiens (puisque leur courbure est inversée), il est préférable d'utiliser les termes de flexion ventrale et de flexion

dorsale pour la flexion et l'extension du rachis.

Les vertèbres cervicales n'ont pas la même architecture que les autres vertèbres, elles sont plus fragiles : les éléments ligamentaires et fibreux peuvent subir des contraintes quatre fois plus importantes que les éléments osseux (92)

L'arc postérieur de l'atlas se fracture lors de l'extension forcée du rachis cervical supérieur, l'emprisonnant entre l'occipital et l'arc postérieur de l'axis (43). Au niveau de C1 le mécanisme lésionnel est souvent rotatoire et axial.

C2 : la division des lignes de force entre le crâne et la colonne cervicale s'effectue au niveau de l'axis (28) (111). Sa fracture résulte le plus souvent d'une hyperextension associée à une compression (70) L'hyperextension pure détermine une rupture de l'arc postérieur et le plus fréquemment passant par la région de l'isthme radiologique : c'est la classique "fracture du pendu" (63).

La fracture de l'odontoïde mérite un développement particulier :

- . le mécanisme de rupture du col de l'odontoïde, habituellement reconnu, est une hyperextension associée ou non à un cisaillement, la fracture de la base résulte d'une hyperflexion
- . un travail récent propose une nouvelle classification basée sur une étude expérimentale et clinique (2) :

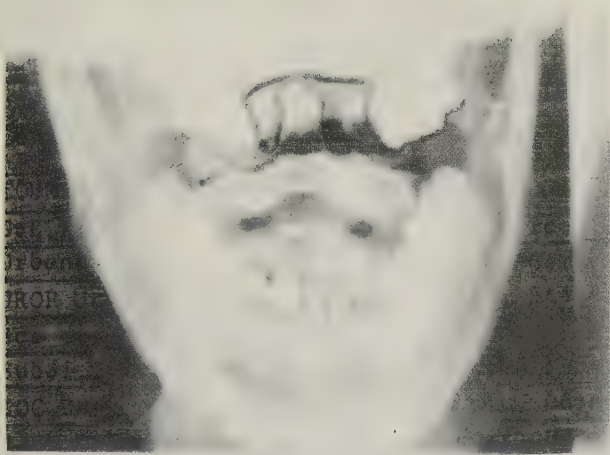
l'hyperflexion, l'hyperextension, le cisaillement horizontal ne provoquent pas de lésion de l'odontoïde mais des ligaments, ou de la partie supérieure du corps de l'axis

le type A : fracture de l'isthme, elle résulte d'un impact sur le crâne, selon un axe perpendiculaire au plan sagittal et passant par l'odontoïde

le type B : fracture de la base, par choc antérieur dans un plan à 45° du plan sagittal

le type C : la zone fracturaire est située à la partie supérieure du corps et d'un côté englobe la moitié de la facette articulaire supérieure de C2. C'est une lésion uniquement radiologique que les auteurs n'ont pu réaliser expérimentalement

le type D : la fracture passe par la partie supérieure du corps de l'axis, associée, des deux côtés, à la moitié des facettes articulaires



Face



Profil

Fracture de l'odontoïde avec luxation postérieure de C2 sans trouble neurologique



Profil

Subluxation antérieure de C4
Fracture tassement du corps de C4



Profil

Luxation de C3/C4

supérieures de l'axis. Le mécanisme en est un cisaillement horizontal avec compression verticale dans le plan sagittal (impact antérieur ou postérieur).

Le rachis cervical inférieur :

- les lésions par hyperextension correspondent à des arrachements ligamentaires antérieurs, parfois avec fracture pédiculaire ou articulaire. Associée à une rotation, elle peut créer une fracture unilatérale de l'arc postérieur
- l'hyperflexion entraîne des arrachements ligamentaires postérieurs (ligament jaune et épineux notamment). La fracture tassement cunéiforme antérieure corporeale plus ou moins importante jusqu'à la fracture comminutive relève de ce mécanisme ; en cas de force axiale d'étirement surajoutée apparition de subluxation, de fracture séparation (qui déplace un gros fragment corporeal vers le canal rachidien), de luxations complètes. Les segments les plus fréquemment atteints sont C4 - C5 et C5 - C6 (26). Lorsqu'elle s'associe à une rotation, la flexion crée des fractures luxations uni ou bilatérales, des luxations unilatérales.
- le mécanisme du "coup de fouet" correspond à la succession rapide d'une flexion et d'une extension, cette dernière serait la phase la plus délabrante
- l'inflexion latérale violente entraîne une fracture tassement latérale ou une luxation unilatérale. Elle s'associe toujours à une rotation
- la compression axiale ou en rotation est souvent retrouvée en accidentologie. Elle crée des tassements corporeaux des "tears drops" fractures. Elle s'associe presque toujours à d'autres mécanismes lorsqu'il existe de gros traumatismes, notamment du rachis cervical inférieur. Le déroulement des mécanismes aboutissant à la "tear drop" fracture doit être connu pour comprendre l'absence de parallélisme entre la gravité des signes cliniques et la pauvreté des signes radiologiques (109) : une compression ou une flexion crée une déformation de la corticale postérieure du corps vertébral, avec intrusion de tissu osseux dans le canal rachidien, entraînant l'atteinte neurologique ; puis, lorsque le mécanisme lésionnel cesse, l'élasticité des tissus osseux permet leur réintégration presque complète. Il ne persiste qu'un minime déplacement du mur postérieur.

- le choc direct est possible lors des accidents, par projection d'objets, il entraîne un cisaillement et une fracture luxation.

Le rachis dorsolombaire

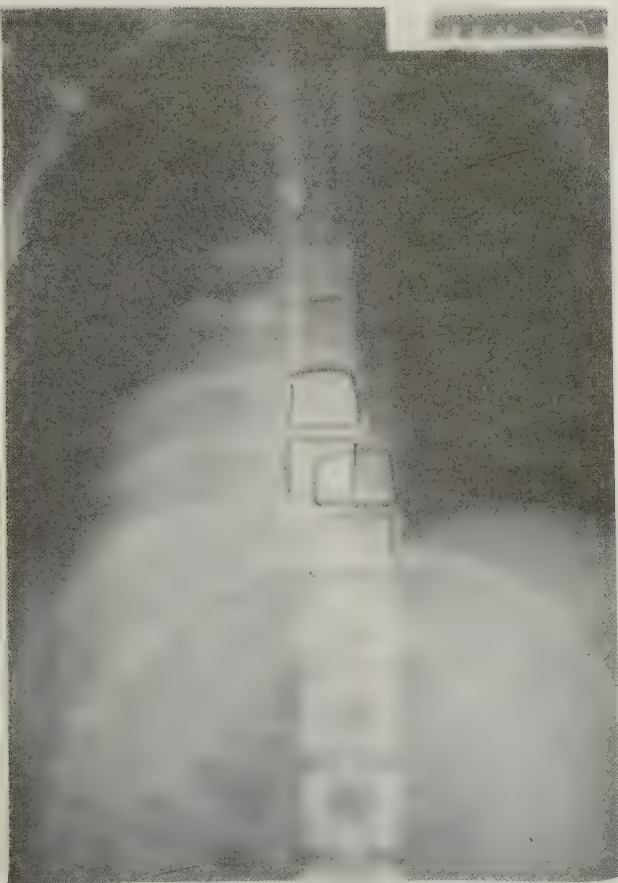
Les fractures

- . les fractures isolées du corps vertébral sont, soit latentes avec simple tassement trabéculaire ou fissure de la corticale, soit marginales arrachant le plateau supérieur d'une ou de plusieurs vertèbres.
- . les fractures totales correspondent aux trois types de WATSON JONES
 - . tassement cinéiforme d'une ou de plusieurs vertèbres
 - . fracture comminutive avec rupture du ligament interépineux et bascule de la vertèbre susjacent dans le tissu spongieux de la sousjacent
 - . fracture luxation avec rupture des pédicules et trait corporéal oblique en bas et en avant, il s'y associe de façon régulière des lésions discales
- . les fractures parcellaires sont celles des apophyses transverses lombaires, des apophyses épineuses, d'une articulaire avec ou sans luxation unilatérale, de l'isthme vertébral

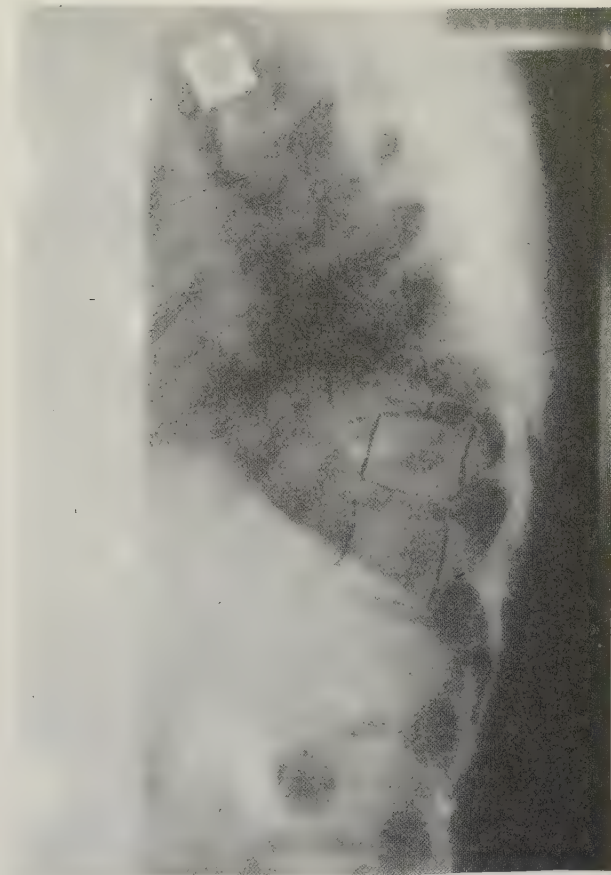
Les luxations

La structure anatomique du rachis dorsal explique sa solidité : les divers éléments sont renforcés par l'orientation des facettes apophysaires articulaires et la présence de la cage sternocostale. Ainsi la luxation est rarement isolée et HOLDSWORTH (40) réfute son existence à l'étage dorsal.

Au niveau lombaire, lors d'un mouvement combiné de flexion rotation, la luxation pure peut se produire lorsque le complexe ligamentaire postérieur se rompt. Les articulations inférieures de la vertèbre susjacent passent soit en avant des supérieures de la vertèbre sousjacent, soit latéralement étant donné l'orientation de leurs facettes.



Face

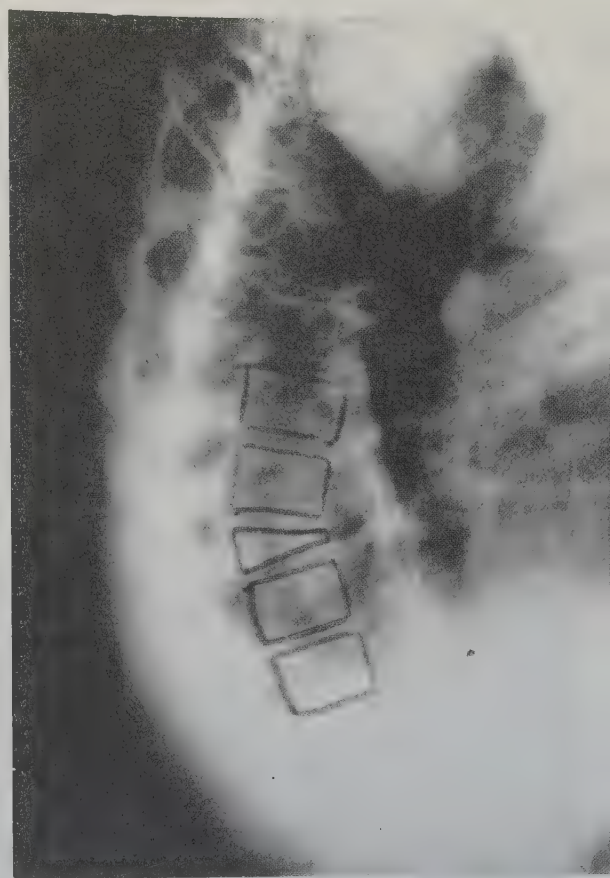


Profil

Fracture des apophyses articulaires inférieures de D9 et supérieures de D10 avec luxation postérolatérale gauche complète de D10, postérolatérale.

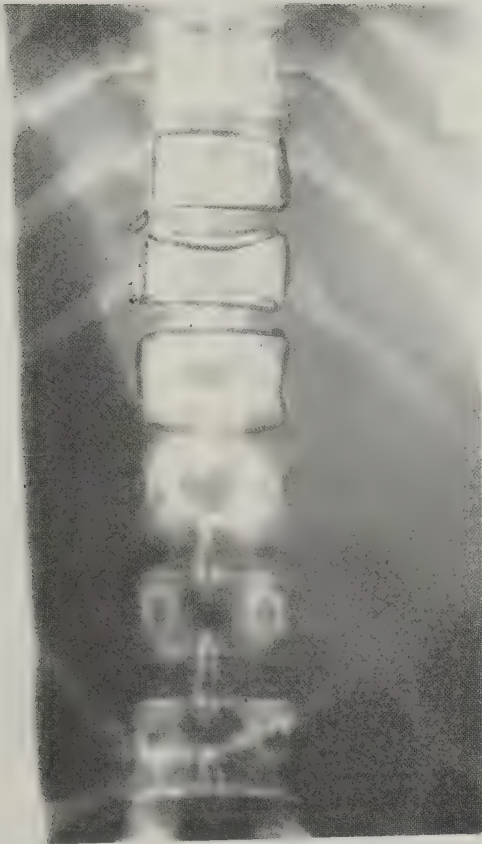


Face



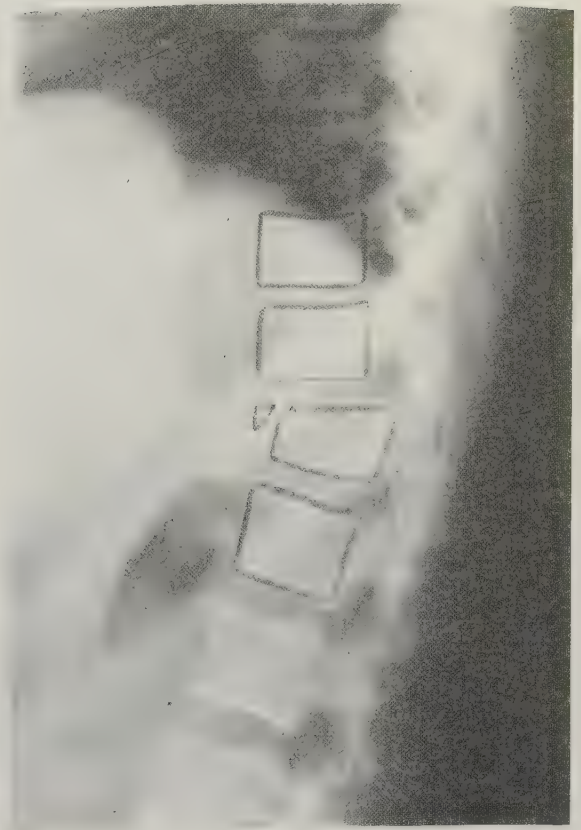
Profil

Fracture tassement cunéiforme antérieur du corps de D5 avec luxation latérale gauche de D4/D5

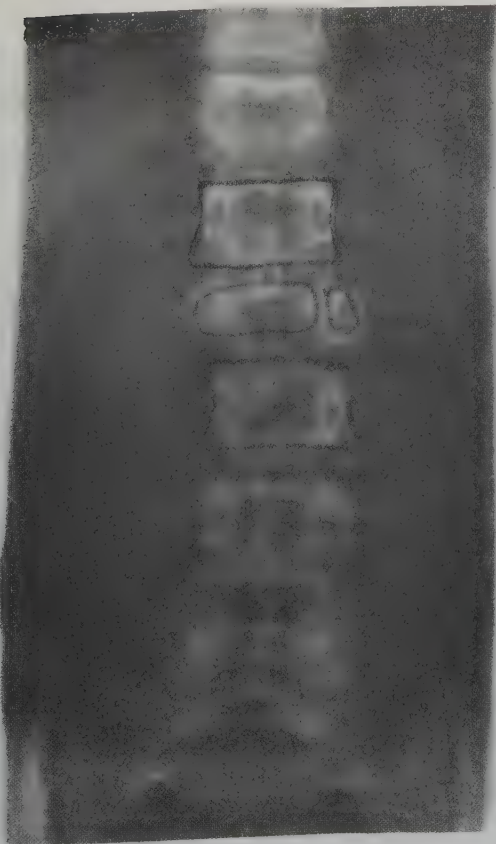


Face

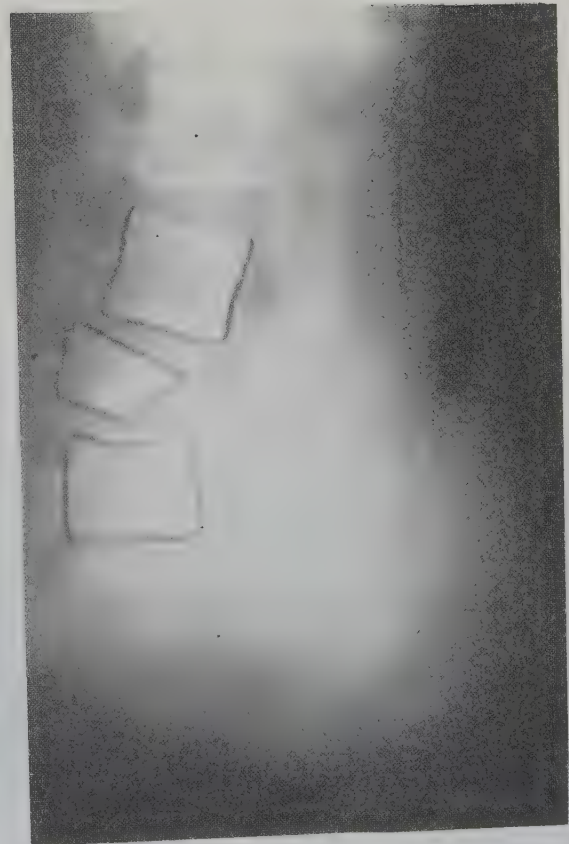
Fracture globale de D12 avec recul du mur postérieur



Profil



Face



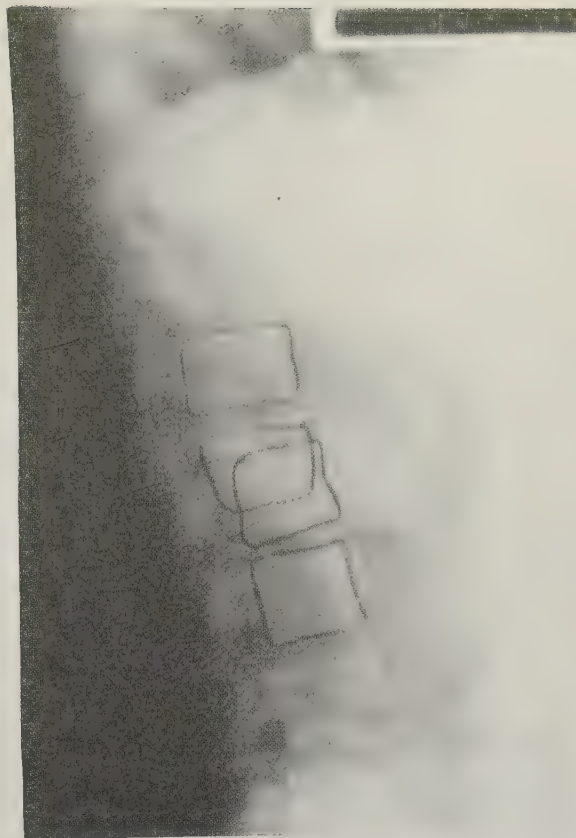
Profil

Fracture de L4 et fracture du corps de L2 et recul du mur postérieur.



Face

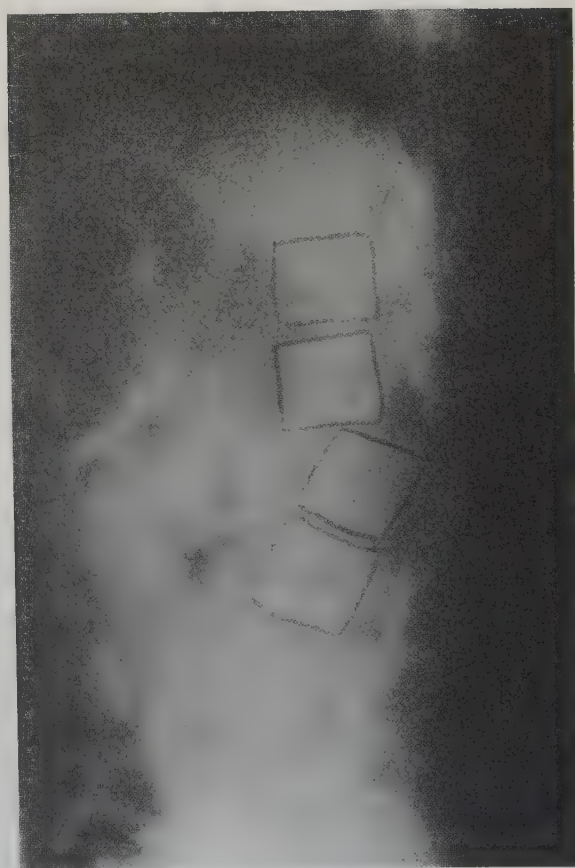
Fracture dylocation du rachis lombaire.



Profil



Face



Profil

Classification des fractures luxations du rachis lombaire (44)

(H. KAUFER et J.T. HAYE)

Type 1 : dislocation des 3 points de contact articulaire, c'est la luxation pure (très rare)

Type 2 : à la luxation s'ajoute une fracture d'un corps vertébral en général sousjacent

Type 3 : pas de luxation corporéale, mais fracture des pédicules

Type 4 : luxation isolée d'une apophyse articulaire avec fracture symétrique de l'arc postérieur

Type 5 : luxation intercorporéale isolée avec rupture des deux pédicules (rare)

Le mécanisme de lésion (31) (103)

L'hyperflexion crée une cyphose : le centre de gravité du corps étant antérieur à cette région, les corps vertébraux subissent d'importantes forces compressives et les éléments postérieurs une tension (110).

Le télescopage par pression directe des corps vertébraux les uns sur les autres, plus grave lorsque le rachis est en extension par contraction réflexe (la colonne lombaire semble être bien moins résistante en flexion qu'en compression axiale)

Le choc postérieur sur la partie supérieure du rachis crée un cisaillement et une fracture luxation

L'hyperextension entraîne des lésions de l'arc postérieur

Pour WATSON-JONES, il y a trois directions de force :

- une pression verticale entraîne, si elle est antérieure, un tassement cunéiforme d'une ou de plusieurs vertèbres, si elle est centrée dans l'axe des corps, une fracture des plateaux
- une force postérosupérieure, agissant brutalement de haut en bas et d'arrière en avant, amène une hyperflexion du tronc souvent latéralisée et provoque une fracture comminutive
- une force strictement postérieure

Cette classification méconnaît le rôle de la rotation introduit par NICOLL : toute inflexion latérale du rachis entraîne une rotation dite automatique, en général vers la convexité de la courbure. Cette rotation associée à la flexion crée des tassements latéraux, des luxations unilatérales le plus souvent associées à des fractures de l'arc postérieur.

La rotation est un élément important du mécanisme de luxation du rachis lombaire ; se rompent dans l'ordre : ligaments interépineux, capsules des articulations postérieures, ligament longitudinal postérieur, disque et parfois corps vertébral. Mais la composante de flexion doit être suffisante pour "désengager" les apophyses articulaires sinon on assiste à leur fracture.

A la jonction thoracolombaire, élément le plus rigide du rachis, il suffit d'une rotation peu importante pour que survienne une subluxation. Elle se complète fréquemment par une fracture des apophyses articulaires ; si une composante de flexion s'y associe, la subluxation peut être pure (31).

Le choc direct au niveau dorsolombaire est un mécanisme souvent retrouvé en accidentologie.

Importance de la musculature

Le rôle des muscles dans la dynamique rachidienne a été démontré dans une étude de l'O.N.S.E.R. sur le système tête-cou du babouin soumis à une décélération frontale (101). Ces animaux ont été placés sur des bancs d'essais dynamiques alors que leur tonus musculaire était amené dans trois états différents : normal, augmenté par stimulation électrique directe des muscles extenseurs, diminué par anesthésie générale. Les auteurs ont enregistré par cinématographie la dynamique du système tête-cou. Lorsque la musculature est contractée, il se produit une diminution notable de l'amplitude et de la vitesse des mouvements forcés de la tête et du cou et une atténuation de 50 % de la valeur maximale de l'accélération angulaire subie par la tête par rapport à un état relâché, même pour des vitesses de lancer élevées

(jusqu'à 40 km/h). En pratique, chez l'homme, l'augmentation du tonus musculaire résulte d'une activation volontaire qui anticipe le début du choc. Cette notion peut s'étendre aux autres niveaux osseux, notamment lombaire où la masse musculaire est considérable.

Analyse uniciste des lésions et notion d'instabilité

Analyse anatomopathologique uniciste des lésions rachidiennes (83)

En effet, trois éléments se dégagent à l'étude de ces lésions :

- l'anatomopathologie est la même quel que soit le niveau, cervical, dorsal, ou lombaire, seule la fréquence des types d'atteinte singularise chaque segment
- les lésions des arcs antérieur et postérieur sont interdépendantes
- une lésion se définit par une solution de continuité qui peut siéger au niveau de l'os ou des éléments discoligamentaires ; dans le premier cas, il s'agit bien évidemment d'une fracture, dans le second cas d'une luxation ou d'une entorse (selon qu'il existe un déplacement ou non).

Les fractures sont surtout dorsolombaires, plus rarement cervicales. Les traits sont frontaux, sagittaux ou surtout obliques, partiels ou totaux, atteignant ou non la face postérieure du corps. Leur gravité se juge sur l'extension au segment vertébral moyen (mur postérieur avec ses attaches ligamentaires plus pédicules plus apophyses articulaires). Ces traits conditionnent le déplacement des différents fragments.

Les solutions de continuité discoligamentaires :

- peuvent être pures, presque exclusivement au niveau du rachis cervical
- ou associées à des lésions osseuses qui ne sont qu'un épiphénomène : fractures des articulaires au niveau de l'arc postérieur, fractures parcellaires du corps

Dans un grand nombre de cas, l'état du disque conditionne le pronostic :

. dans le "tear drop" fracture par exemple, la lésion primitive n'est pas osseuse mais est une rupture des éléments discoligamentaires dont le trait s'épuise au niveau du corps vertébral au lieu de se limiter au disque.

. autre exemple, la fracture des pédicules de C2 est de gravité variable : isolée, sans atteinte discale, il s'agit d'une lésion stable ; associée à une atteinte des éléments discoligamentaires, elle est grave et instable.

Le déplacement, qu'il soit d'origine osseuse ou discoligamentaire, peut se faire (comme pour les os longs) en angulation, baïonnette, chevauchement ou décalage plus ou moins combinés entre eux.

Donc, devant une lésion, il faut faire la distinction entre fracture et luxation, car, même si cette lésion est rarement pure, elle prédomine soit au niveau de l'os, soit au niveau de l'appareil discoligamentaire. Cette prédominance conditionne les risques d'instabilité immédiate ou lointaine.

L'instabilité (10) (49) (50)

C'est "la possibilité pour un rachis traumatique de subir après l'accident initial un déplacement secondaire au-delà des limites physiologiques (R. LOUIS)". Si celui-ci se produit, il signe une rupture pratiquement complète des freins ligamentaires. Elle fait peser sur les formations nerveuses et vasculaires une menace de complications neurologiques graves.

Evolution de la notion d'instabilité :

- NICOLL l'établit
- puis RIEUNAU et DECOULX démontrèrent l'importance de l'atteinte du mur postérieur corporéal et discal
- HOLSWORTH isola le rôle de la rupture du complexe ligamentaire postérieur dans certaines instabilités

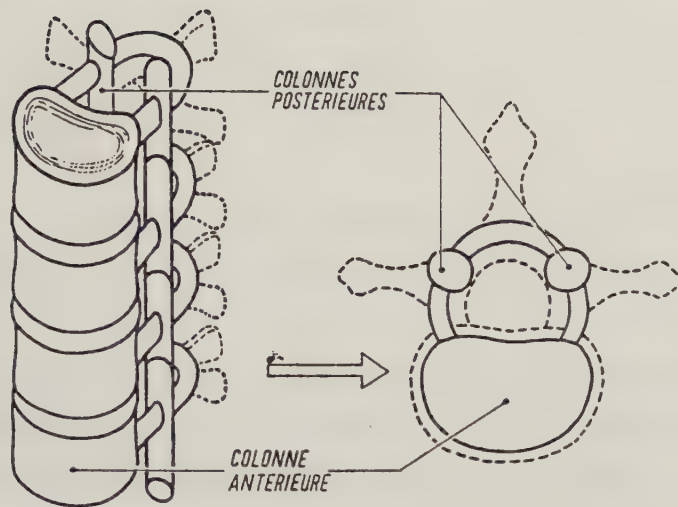
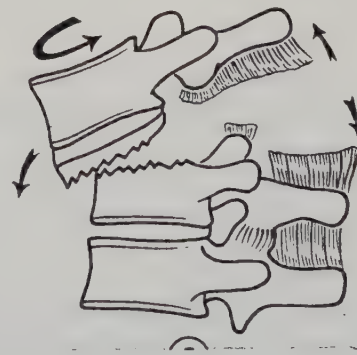


Schéma de Stringa.

Instabilité à prédominance osseuse
(lésions non évolutives)



Instabilité à prédominance
disco-ligamentaire (lésions évolutives)



- ROY-CAMILLE ajouta la notion de segment moyen
- enfin, c'est actuellement la théorie de STRINGA, reprise par R. LOUIS, qui semble fournir la représentation biomécanique la plus complète des éléments de stabilité du rachis.

La "théorie des colonnes" est basée sur le fait que l'architecture concourant à la stabilité vertébrale se résume à deux grands systèmes :

- l'un vertical, fait de trois colonnes ostéoligamentaires : l'axe discocorporel en avant et les deux axes des apophyses articulaires en arrière. Le premier disparaît au niveau de C1, C2.

- l'autre horizontal métamérique formé par des butées osseuses et des freins discoligamentaires. Les butées sont les apophyses odontoïde, articulaires, épineuses, unciformes, transverses. Les ligaments comprennent : le ligament suspenseur du cou, les ligaments inter et surépineux, les ligaments alaires et transverses, les ligaments jaunes et capsulaires. De plus, les anneaux fibreux des disques sont doublés des ligaments communs antérieur et postérieur, importants pour la stabilité (notamment du segment cervical) (84).

Selon que la solution de continuité passe par la partie osseuse ou ligamentaire des colonnes, on parle d'instabilité à prédominance osseuse (de bon pronostic grâce à sa consolidation) ou à prédominance discoligamentaire de mauvais pronostic car peu apte à consolider, donc, non plus provisoire mais durable. La laminectomie pratiquée pour l'exploration neurologique crée un grave facteur d'instabilité en détruisant des éléments de fixité importants.

En pratique, pour une appréciation chiffrée de la stabilité, R. LOUIS donne à chacune des lésions un coefficient : 0,5 pour les solutions de continuité incomplètes d'une des trois colonnes verticales ou complètes d'un pont horizontal (lames et pédicules), 1 pour l'ensemble des solutions de continuité complètes d'une des trois colonnes verticales. Si la somme des coefficients est inférieure à 2, le rachis est stable, si elle est égale ou supérieure à 2, le rachis doit être stabilisé.

Sur le plan radiologique, on peut considérer comme signes de certitude en faveur d'une instabilité du rachis cervical

- un ante ou rétrolisthesis d'un corps vertébral de plus de 3,5 mm au-dessus de C4 et supérieur à 2 mm au-dessous de C4
- la découverte d'une surface articulaire de plus de 50 % ou un cisaillement postérieur de l'interligne articulaire
- l'angulation de plus de 11° d'un corps vertébral par rapport au corps sous-jacent
- le baillement d'un espace interépineux supérieur à l'écartement des espaces sus et sous-jacents.

Au niveau du rachis lombaire, la lésions osseuse corporeale isolée ne constitue pas un facteur d'instabilité majeur, il semble que le facteur principal soit une atteinte du disque et des ligaments d'autant plus importante que les lésions corporeales sont le plus souvent minimales étant donné la grande résistance des éléments osseux.

Après avoir étudié l'atteinte ostéoarticulaire, il nous faut analyser les lésions nerveuses puisqu'elles engagent le pronostic fonctionnel des traumatismes du rachis.

LES LÉSIONS NEUROLOGIQUES

R.S. RIGGINS et J.F. KRAUS ont étudié statistiquement le risque d'atteinte nerveuse en fonction de la lésion osseuse, tous niveaux confondus (79) :

	<u>% d'atteinte neurologique</u>
- luxation complète pure	17 %
- luxation et fracture de l'arc postérieur	27 %
- luxation et fracture du corps	56 %
- luxation et fracture du corps et de l'arc postérieur	61 %
- fracture de l'arc postérieur	19 %
- fracture corporeale	3 %
- fracture de l'arc postérieur et du corps	11 %

Avant d'aborder l'anatomopathologie, les mécanismes physiopathologiques et les aspects cliniques, il nous faut établir la classification que nous avons utilisée dans notre étude des lésions médullaires.

LA CLASSIFICATION DE H.L. FRANKEL (29)

- lésion complète : (A) "complete"

La lésion est totale, sensitive et motrice, au-dessous du niveau segmentaire indiqué

- récupération seulement sensitive : (B) "sensory only"

Il existe une sensibilité au-dessous du niveau lésionnel, mais la paralysie est complète au-dessous de ce niveau. Cette catégorie ne comprend pas les cas où existe une légère divergence entre les niveaux moteur et sensitif, mais s'applique lorsque le territoire sacré est présenté

- récupération motrice inutile : (C) "motor useless"

Il persiste une motricité au-dessous de la lésion, mais elle ne peut être utilisée fonctionnellement par le blessé

- récupération motrice utilisable : (D) "motor useful"

Il persiste une motricité au-dessous de la lésion et elle permet au blessé de bouger les membres inférieurs et de marcher avec ou sans aide

- récupération : (E) "recovery"

Le blessé ne présente aucun symptôme neurologique ni faiblesse motrice, ni atteinte sensitive, ni perturbation sphinctérienne. Des réflexes anormaux peuvent avoir cependant existé.

Cette classification, simple dans son expression, permet de clarifier l'évolution de l'atteinte nerveuse, mais elle méconnaît l'atteinte radiculaire qui, bien sûr, n'engage que le pronostic au niveau lésionnel.

Rappelons qu'en France, lorsque l'on cite une paraplégie à un niveau, celui-ci est le premier atteint (en Grande-Bretagne, le niveau cité correspond au dernier métamère sain) et si l'on ne désigne la lésion que par un seul niveau, c'est le niveau moteur, alors qu'assez fréquemment existe une discordance entre étages lésionnels sensitif et moteur (52). Aussi, la meilleure dénomination est celle qui désigne deux niveaux contigus, la lésion s'établissant entre eux : par exemple, dans une paraplégie D6 niveau D5-D6 moteur D4 D5 sensitif, le premier métamère moteur atteint est D6, sensitif D5.

ANATOMOPATHOLOGIE DES LÉSIONS

Les racines

- Etirées, arrachées ou écrasées, elles sont atteintes dans le canal rachidien ou dans le trou de conjugaison.

- L'artère radiculaire peut aussi être lésée.

Les lésions médullaires

Nous emprunterons la description des lésions médullaires à R.P. VIGOUROUX (103) :

elles associent au niveau lésionnel à des degrés variables, oedème, hémorragie et nécrose. Selon leur importance quantitative respective, on distingue :

- la contusion qui, microscopiquement se caractérise par une solution de continuité du tissu nerveux, par de petits foyers de nécrose et d'hémorragie pétéchiale

- la dilacération est la solution de continuité macroscopique associant des lésions tissulaires, vasculaires et méningées

- les hémorragies naissent de ces atteintes et s'épanchent dans l'espace sous arachnoïdien ou dans l'espace sous-dural et/ou dans le parenchyme ou niveau de l'impact ou à distance (de mécanisme pathogénique mal expliqué, cette hématomyélie est alors souvent cervicale)

Leur évolution comporte trois phases :

- la première est lésionnelle initiale, dominée par les hémorragies, la congestion vasculaire, l'oedème
- la seconde est réactionnelle avec apparition de néovaisseaux capillaires et de cellules granuleuses
- enfin, la phase cicatricielle ; les contusions médullaires graves sont souvent suivies d'une cavitation centrale avec fonte ischémique et conservation d'un liseré médullaire susceptible de laisser passer des messages fonctionnels sous-lésionnels (105). L'évolution peut se faire exceptionnellement vers la constitution d'une hydromyélie (23).

La commotion médullaire, paralysie fonctionnelle habituellement réversible, est exceptionnelle (35). Il s'y associe parfois une dégénérescence aigue des fibres à myéline.

Mécanismes causant les lésions neurologiques (106)

Ils sont au nombre de cinq :

- La compression

C'est une sténose aigue du canal rachidien développant de façon homogène des forces antérieures et postérieures lésant la moelle de façon uniforme . Elle peut se produire, par exemple, en flexion lorsque s'associent fracture du corps et de l'arc postérieur, en extension par association d'une hernie discale et d'une protusion antérieure du ligament jaune. On considère qu'une sténose canalaire de plus du tiers du diamètre antéropostérieur constitue une cause de compression nerveuse effective ou partielle. Cette sténose peut produire une destruction médullaire mécanique pure par mécanisme du chevalet ou de l'étau de CHIPAULT. Mais il existe fréquemment une atteinte ischémique sans lésion vasculaire périphérique : elle se retrouve dans les sténoses aiguës non contusives, mais suffisamment serrées pour réaliser une pression au contact de la moelle égale ou supérieure à 40 cm d'eau (qui correspond à la pression capillaire). Ces phénomènes de compression ont été réalisés expérimentalement par divers auteurs. Quatre heures après l'application de la compression, l'oedème, et parfois l'hémorragie apparaissent ; huit heures après la paraplégie est définitivement acquise.

Il existe au sein de ces tissus une anoxie, une libération de norépinéphrine et de catécholamines qui crée une destruction chimique associée à la destruction mécanique de l'oedème et de l'hémorragie. Cette dégénérescence se produit au niveau du traumatisme, mais aussi s'étend au-dessus et au-dessous, proportionnellement à la pression appliquée sur la moelle : on explique ainsi la diffusion de l'atteinte médullaire à distance du traumatisme initial.

Des solutions thérapeutiques sont préconisées afin de stopper ces phénomènes et permettre une récupération des voies nerveuses, notamment grâce aux anastomoses entre systèmes vasculaires : ce sont l'hypothermie, la perfusion de solutés physiologiques (23), les anti-inflammatoires stéroïdiens, l'alpha-méthyl-tyrosine (anti-norépinéphrine) ; leur application doit être prévue mais leur efficacité en pratique reste à démontrer en-dehors de l'action des anti-inflammatoires.

- L'application de forces de contact

Il s'agit de phénomènes biomécaniques précédant la compression (par exemple : lors d'une extension, la protrusion des ligaments jaunes, lors d'une flexion la présence d'un ostéophyte créent des forces de contact). Elles entraînent une lésion directe mais aussi indirecte par un refoulement médullaire qui, sur la face opposée, induit une force de tension axiale. Un autre exemple est donné par le phénomène du pincement : à un étage donné existe un recul du mur postérieur, la moelle est ainsi refoulée en arrière ; à l'étage susjacent la face médullaire postérieure vient au contact des lames et ainsi subit à deux niveaux des forces de contact sur ses deux faces antérieure et postérieure (109).

- Les forces de sollicitation rapportées à la moelle

Au cours des mouvements de flexion et d'extension sans dégat osseux permanent, la moelle est soumise à des contraintes particulières : par exemple la flexion crée une compression sur la face antérieure et une traction sur la face postérieure. Si le mouvement dépasse les limites physiologiques, le tissu nerveux est lésé. La gravité de la lésion augmente lorsqu'on s'éloigne d'un axe centromédullaire appelé ligne neutre.

TURNBULL (98) a montré que les vaisseaux centraux de la substance grise sont orientés de telle sorte qu'ils peuvent être étirés et comprimés par une force postéro-antérieure. Cette disposition augmente les risques d'hémorragie centrale (zone peu anastomotique) lors des traumatismes sagittaux.

Les lésions centro-médullaires pures sans compression artérielle vraie, relèvent des trois mécanismes que nous avons vu, isolés ou associés, les lésions sont donc retrouvées fréquemment.

- Le phénomène de résonance

Pour certains, la moelle épinière tendue entre ses deux pôles pourrait se mettre en état de résonance vibratoire, comme une corde d'instrument, lors de chocs violents, et subir des dommages par phénomène mécanique et vasculaire.

- L'ischémie

Fréquente par compression ou thrombose des artères nourricières, elle peut être due à un fragment osseux détaché, à un déplacement important, à une protrusion discale (médiane postérieure elle menace l'artère spinale antérieure). Une entorse cervicale peut provoquer des lésions médullaires par atteinte de l'artère vertébrale

à type de thrombose aiguë ou de contusion pariétale, de déviation par un foyer hématique, ou encore, par plicature avec sténose partielle au niveau d'une hyperlaxité ligamentaire (71).

On peut aussi assister à une compression ou à une rupture de l'artère radiculaire. L'ischémie du territoire de l'artère spinale antérieure peut retentir sur un segment d'autant plus long qu'elle atteint un des territoires fragiles, notamment dans les territoires fragiles ou dans le territoire des artères périphériques.

Les zones le plus souvent lésées sont paradoxalement les renflements (42) : alors que leur circulation interne est soumise à un régime élevé (forte densité d'artères sulcales), le nombre d'artères afférentes à ces zones est limité (surtout en ce qui concerne le réseau spinal antérieur) ; leur interruption est alors bien mal compensée par un réseau de suppléances insuffisant (ischémie de territoire). A l'op-

posé, les zones dites critiques peuvent rétablir une circulation efficace grâce à la proximité des renflements bien vascularisés.

- L'application clinique

Les divers mécanismes étudiés permettent d'expliquer la pathogénie de lésions médullaires initiales et retardées retrouvées en clinique.

Les atteintes initiales

Elles sont le plus fréquemment réalisées par atteinte osseuse visible radiologiquement. En l'absence de celle-ci, il faut savoir rechercher diverses causes. D.C. BURKE (14) cite de nombreux cas de syndrome de l'artère centrale cervical isolé. Au niveau thoracolumbaire la fréquence en est moindre. G. LAVARDE (46) affirme qu'à l'étage de la charnière il n'existe pas de complication neurologique sans lésion osseuse. Dans tous les cas, il faut s'astreindre à rechercher une atteinte minime à type d'entorse, de subluxation (indication élargie de tomographies) de protrusion discale (elles sont fréquemment retrouvées lors des vérifications anatomiques médico-légales et peropératoires). La recherche de lésions discales bénéficie de nouveaux procédés d'exploration remplaçant la discographie :

- . la myélographie opaque en urgence dans les lésions cervicales, après mise en traction par étrier, par puncture latérale (95)
- . la myélographie par transit isotopique permet l'étude des espaces périmédullaires à l'aide de traceurs radioactifs. Elle est associée à un repérage de la position des vertèbres grâce à une source radioactive ponctuelle. Elle peut objectiver l'existence de blocages totaux et partiels avec image de la compression et ruptures traumatiques des enveloppes méningées rachidiennes (61).
- . la phlébographie rachidienne lombaire et cervicale : le cathétérisme du système veineux périrachidien à l'étage lombaire est à droite, celui d'une veine sacrée latérale à gauche de la veine lombaire ascendante (On l'associe à une compression abdominale) à l'étage cervical le plus souvent, c'est celui d'une veine vertébrale. On opacifie ainsi les veines épidurales. Les principaux aspects pathologiques

sont constitués par une interruption ou une compression veineuse uni ou bilatérale. Les meilleures indications sont les hernies discales, notamment traumatiques, mais on peut n'observer qu'une absence d'opacification de l'anastomose veineuse rétrocorporéale signant une compression intracanalair (par exemple hématome). Les indications sont cependant discutées lorsqu'il existe un traumatisme du bassin (phlébite pelvienne possible) ou une paraplégie. Sur la myelographie, elle présente l'avantage de ne pas introduire de produit de contraste dans l'espace sous arachnoïdien, de ne pas nécessiter d'anesthésie générale, et, chez les traumatisés rachidiens de limiter au maximum la mobilisation (53)(54)(61).

- . le densitomètre sera d'un apport considérable dans la pathologie rachidienne, il permet notamment de mettre en évidence les sténoses du canal rachidien.

Si une cause compressive est suspectée, la chirurgie est alors indiquée.

Les atteintes retardées

Dans quelques cas, l'atteinte médullaire survient après un intervalle libre. Il faut alors rechercher un déplacement secondaire de fracture, de luxation, mais aussi une subluxation, une entorse grave ou une hernie discale, qui représente un grave facteur d'instabilité. Elle peut évoluer secondairement vers une grande subluxation. On peut aussi évoquer un mécanisme vasculaire ischémique ou hémorragique. Leur reconnaissance précoce permettrait d'éviter, dans de nombreux cas, que des complications nerveuses minimes ne se transforment en paraplégies graves.

Notion de réversibilité et d'irréversibilité des lésions neurologiques (49)

Nous pouvons individualiser des lésions certainement irréversibles et des lésions théoriquement réversibles, mais cette distinction n'est qu'un guide approximatif.

Les lésions définitives sont les ruptures complètes, les foyers d'attrition par écrasement ou élongation souvent associée à une hémorragie centromédullaire. Sont de mauvais pronostic, la tétraplégie complète sans signe de récupération après les vingt-quatre premières heures, une image de section ou d'amincissement sévère de la moelle à la tomo-myélographie, enfin l'absence de recueil des potentiels évoqués sur le cortex cérébral à partir des membres.

Les lésions qui laissent espérer une récupération sont la sidération fonctionnelle, l'oedème médullaire, la compression incomplète, l'ischémie. Mais ces phénomènes créent au bout de cinq à six heures des lésions irréversibles par destruction chimique ou mécanique.

Corrélations entre les atteintes médullaires et osseuses cervicales

Essai de synthèse réalisée par B.C. MARAR (51)

Atteinte osseuse	Atteinte nerveuse
fracture tassement ou luxation complète mécanisme en flexion	tétraplégie complète section complète de moelle
lésion en hyperextension	perte de motricité de degré variable soit des 4 membres, soit des membres supérieurs dans le cadre d'un syndrome central
compression verticale, tassement corporéal, tear drop fracture, luxation. Association de flexion et extension	perte complète de motricité dans le cadre d'un syndrome de l'artère spinale antérieure
luxation unilatérale, fracture des arcs de C1 et nombreux autres types	atteinte motrice des 4 membres ou des membres supérieurs seulement sans perte sensitive
luxation unilatérale ou fracture tassement	syndrome de BROWN-SEQUARD

Aspects cliniques des atteintes médullaires

- Au stade aigu post-traumatique précoce

Il est difficile d'affirmer le caractère complet ou incomplet du déficit pendant la période de "choc spinal" ou de la sidération médullaire. Le choc spinal est l'état de dépression des réflexes spinaux de caractère généralement transitoire, il survient après la transsection spinale dans les segments du corps en position caudale par rapport à la lésion ; sa durée est de quelques heures à quelques semaines.

Il faut en différencier la sidération médullaire, car si son tableau clinique est très voisin de celui du choc spinal, il se caractérise par une restitution rapide de l'activité musculaire normale en quelques heures, sans passer par le stade de l'automatisme médullaire. C'est donc un état fonctionnel qui n'implique pas une lésion organique de la moelle.

Les arguments habituellement reconnus comme ayant une signification relativement précise dans le degré de gravité d'une lésion médullaire sont :

- le priapisme
- le réflexe crémasterien ou anal supprimé ou explosif
- le signe de GUILLAIN (lors de l'excitation cutanée plantaire flexion lente des orteils, ou flexion lente suivie d'extension des orteils)
- les troubles végétatifs, notamment le syndrome vagotonique (hypothermie, bradycardie, hypotension artérielle) et l'exagération du réflexe pilomoteur
- l'allure évolutive : si après 48 heures le syndrome neurologique reste complet, il n'y aura pas de récupération fonctionnelle dans la majorité des cas.

Les études statistiques nous apprennent (22) que les paraplégies par lésions neurologiques dorsales moyennes sont généralement complètes et définitives, alors que les atteintes des autres segments sont souvent incomplètes et peuvent ainsi récupérer.

Examen neurologique du paraplégique en urgence (20) (45) (57)

Malgré un bilan neurologique complet, un diagnostic précis est difficile à établir avec certitude dans les premières heures, particulièrement devant des lésions très incomplètes, lorsqu'existe une épargne sensitive sacrée dans une atteinte apparemment complète. En effet : les écueils sont multiples :

- l'état de choc hypovolémique semble réduire les possibilités de perception chez ces blessés
- les troubles de conscience : tout blessé comateux doit être suspecté a priori d'être porteur de lésions médullaires
- l'état de choc psychologique inhérent à tout traumatisme violent
- le degré de choc spinal
- les lésions extramédullaires empêchant la mobilisation du patient

Aussi ce bilan doit être bref tout en restant précis, ne doit pas fatiguer le blessé, doit être répété pour le préciser ou pour noter un changement. On explorera des mouvements ou muscles clés, des zones tégumentaires tests pour la sensibilité superficielle, pour la sensibilité profonde l'étude du positionnement articulaire et de la pression viscérale (organes creux, testicules chez l'homme), les réflexes classiques de recherche rapide et dans laquelle la coopération du blessé est inutile. Le territoire périnéal dépendant du cône terminal sera parfaitement étudié notamment par toucher rectal.

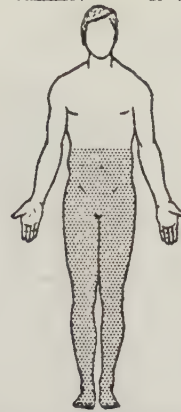
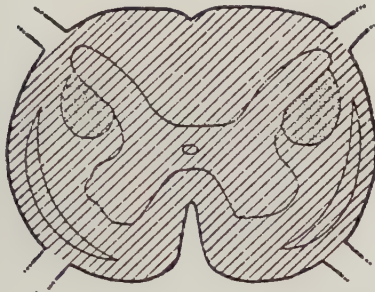
- Après dissipation du choc spinal

Il est alors possible de différencier différents syndromes cliniques (57). Ces syndromes sont les plus classiques et les mieux connus, ils peuvent cependant s'associer.

La section médullaire complète ou "myélite" transverse traumatique représente le tableau le plus schématique. On reconnaît trois secteurs médullaires : suslésionnel parfaitement normal, lésionnel au niveau duquel se trouvent abolies toute élaboration de sensation objective et toute organisation d'activité motrice volontaire ou réflexe, souslésionnel qui ne peut, ni transmettre une information sensitive aux structures susjacentes, ni recevoir d'elles un message moteur, si des activités réflexes s'organisent en son sein, elles restent dépourvues de tout contrôle supérieur.

C'est le secteur lésionnel qui définit la paraplégie sur le plan clinique.

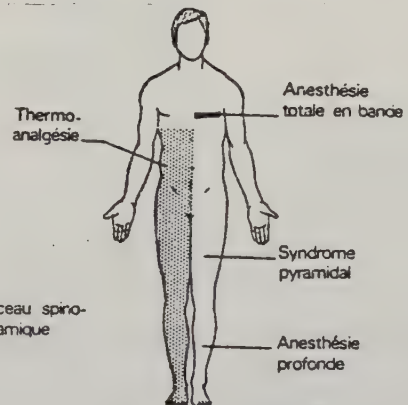
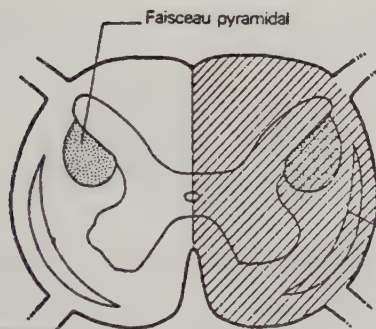
Section complète ou destruction médullaire en D6 (myélite transverse traumatique)



Paraplégie flasque puis spastique.
Anesthésie cutanée et profonde totale.
Réflexes périméaux présents. Vessie centrale.

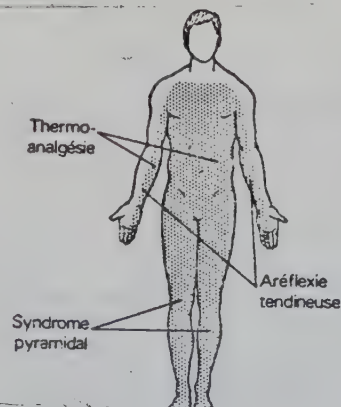
Lésion de la moelle cervicale et de la moelle dorsale.
Syndrome de section complète ou de myélite transverse.

. Le syndrome de BROWN-SEQUARD par lésion de l'hémimoelle. En D6 :



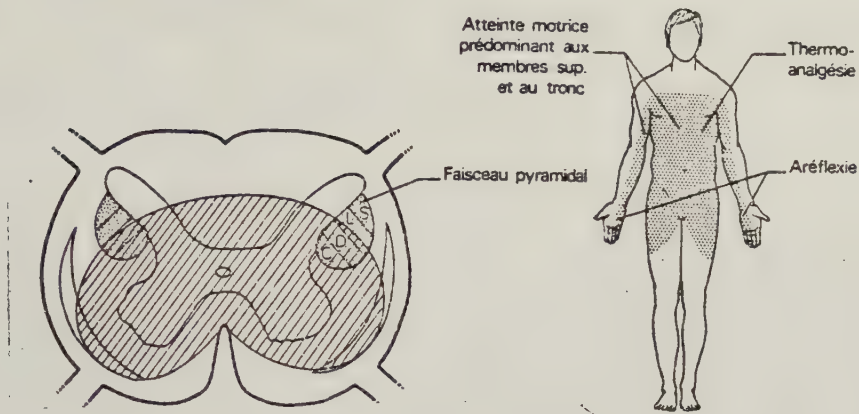
. Le syndrome de l'artère spinale antérieure

- type SCHNEIDER I (86) ou syndrome de KAHN-SCHNEIDER. En C8 :

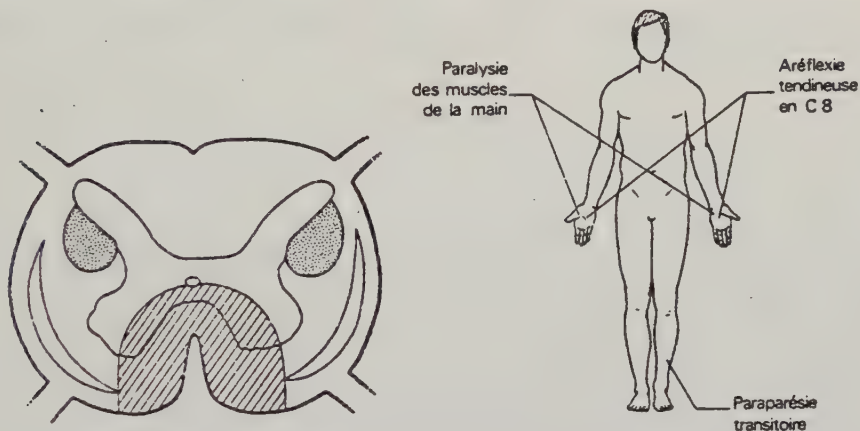


(d'après
P. MINAIRE)

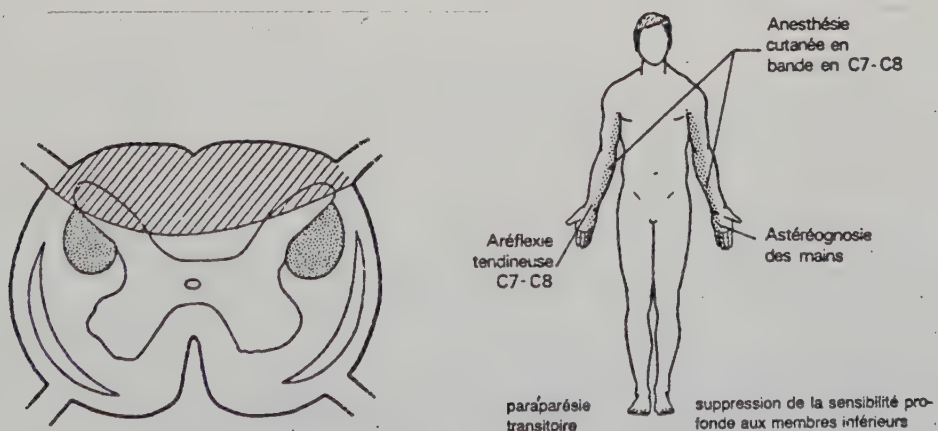
- . Le syndrome centromédullaire : type SCHNEIDER II (87) ou syndrome d'ALAJOUANINE-SCHNEIDER. En C8 :



- . La contusion médullaire antérieure. En C8 :



- . Le syndrome de contusion postérieure de la moelle de ROUSSY-LHERMITTE. En C7-C8 :



- . Les syndromes du cone médullaire s'expriment au niveau de la zone périnéale et des organes pelviens
- . L'atteinte de la queue de cheval réalise une lésion neurologique périphérique à partir de L2.

(d'après P. MINAIRE)

RELATIONS EXISTANT ENTRE LES CIRCONSTANCES ACCIDENTOLOGIQUES ET LES LÉSIONS ANATOMIQUES

Nous étudierons les atteintes osseuses, neurologiques et associées avant d'aborder la synthèse accidentologique dans le chapitre suivant.

RELATIONS ENTRE CIRCONSTANCES ACCIDENTOLOGIQUES ET LÉSIONS OSSEUSES (portant sur les 100 cas étudiés)

LE TABLEAU SYNTHETIQUE

La légende : nous n'avons retenu que :

- les fractures . corporéale : a
 - . de l'arc postérieur : b
 - . du corps et de l'arc postérieur : c
- les luxations pures . isolées : d
 - . associée à une lésion à un autre niveau du rachis, fracture ou luxation : e
- à cette lettre nous associons un chiffre en fonction du nombre de lésions :
 - . 1 si atteinte d'une vertèbre
 - . 2 si atteinte multiple

Les fractures luxations n'ont pas été isolées et ont été comptabilisées avec les fractures. En effet, lorsque les dossiers ne comportaient pas de radiographies initiales ou de compte-rendu opératoire, nous nous sommes fiés à la description des lésions faite par les médecins des services d'urgence rapportée dans les observations et les lettres de liaison lors de l'admission des blessés à l'Hôpital Henry Gabrielle. Ceux-ci, malheureusement, usent trop facilement du terme générique de fracture luxation de tel niveau pour nous permettre de les individualiser.

LES REMARQUES

Lors des retournements, les 46 cas rassemblent 65 lésions réparties dans les cinq séries de niveau vertébral, donc fréquemment il existe une atteinte étagée sur plusieurs segments. Les dégâts anatomiques cervicaux associés à une autre lésion (catégorie C2) sont particulièrement nombreux puisqu'ils représentent 34 % des cas. La fréquence des diverses catégories a, b, c est voisine, donc pas de prédominance de fracture d'une partie de la vertèbre. La somme des ruptures cervicales est égale à 50 % du total. En outre, à partir du niveau dorsal bas, le corps vertébral n'est presque plus touché isolément, mais le traumatisme est global. Le segment lombosacré est peu représenté.

Lors des chocs frontaux, nous retrouvons la fréquence des atteintes cervicales globales et de la charnière dorsolombaire, la rareté de celles du segment lombosacré. Le nombre total de lésions est de 43 pour 32 cas, soit un rapport de 1,34 avoisinant celui des retournements qui est de 1,41. Les luxations sont particulièrement représentées dans ce type de choc.

L'éjection est caractérisée par la prédominance des traumatismes cervicaux isolés, mais sur six dossiers seulement, donc sans valeur statistique. Cette remarque est également valable pour les trois derniers types de chocs latéraux et arrière.

RELATIONS ENTRE CIRCONSTANCES ACCIDENTOLOGIQUES ET LÉSIONS NERVEUSES INITIALES ET STABILISÉES

Elles ont été étudiées sur les 90 cas retenus parmi les patients de l'Hôpital Henry Gabrielle, 84 d'entre eux ayant présenté des lésions neurologiques.

LES TABLEAUX SYNTHETIQUES

- Ils utilisent la classification de H.L. FRANKEL déjà citée
- en abscisse (axe horizontal), la lésion neurologique définitive
 - en ordonnée (axe vertical) la lésion initiale
 - le croisement entre ces deux données se traduit par l'expression suivante : tout ce qui se trouve dans la moitié supéro-droite par rapport à la diagonale correspond à une récupération d'autant plus importante qu'on se rapproche de l'angle supérieur droit. C'est l'inverse pour la partie inféro-gauche du diagramme où apparaissent les aggravations. La diagonale, quant à elle, correspond à la stabilité de l'atteinte.

En ce qui concerne les lésions initiales, il faut garder une prudence d'interprétation : réaliser un examen neurologique précis, dans les conditions de polytraumatisme grave où sont ces blessés à l'arrivée, est en effet difficile. D'autre part, nous utilisons pour ce stade la formule "pas de lésion neurologique initiale" plutôt que le classe E de FRANKEL qui recouvre, par définition, les cas ayant "récupéré" une intégrité clinique neurologique.

- Lors des retournements (40 cas)

	A	B	C	D	E
A	25		3	3	1
B			1	1	
C				2	
D					1
PLNI				1	2

- Lors des chocs frontaux (24 cas)

	A	B	C	D	E
A	11	3	1	2	
B				2	
C				2	
D				1	
PLNI			1	1	

(PLNI : pas de lésion neurologique initiale)

ETUDE DE CES DIAGRAMMES

Synthèse de ces tableaux

Les trois colonnes verticales gauches représentent les lésions demeurant "inutilisables", donc graves (l'usage du fauteuil roulant s'impose), alors que, dans les deux colonnes verticales droites, la lésion neurologique, même si elle persiste, permet une récupération fonctionnelle.

Leur somme nous donne le diagramme suivant :

circonstances accidentolog.	Retournem.	Choc front.	Ejection	Ch.arrière	Ch. latéral
inutilisable	29:72,5 %	16:66,7 %	3	7	6
utilisables	11:27,5 %	8:33,3 %	2	1	1

Quelques réflexions

Ces chiffres doivent être examinés avec la notion qu'ils s'appliquent à des dossiers empruntés à un centre spécialisé dans les soins pour blessés médullaires (le recrutement porte sur les cas graves pour lesquels l'équipe soignante est particulièrement adaptée). Aussi, il ne peut s'établir d'interprétation comparative de ces chiffres qu'entre statistiques de centres de même type et à l'intérieur de notre étude, qu'entre les retournements et les chocs frontaux, seules catégories numériquement suffisantes.

Les lésions graves sont statistiquement presque aussi nombreuses en choc frontal qu'en retournement. Par contre, lorsqu'on cerne uniquement les lésions complètes définitives (de A à A) correspondant à des transsections, les pourcentages diffèrent : en choc frontal 45,8 %, lors des retournements 62,5 % signant l'existence de forces traumatisantes plus élevées dans ce dernier type de choc.

Les lésions avec récupération fonctionnelle sont aussi, évidemment, comparables, mais tandis que lors des tonneaux, il existe 10 % de récupération complète, il n'y a aucun cas lors des chocs frontaux. Nous n'en tirerons cependant aucune conclusion.

Lors des chocs latéraux et arrière, les lésions constatées sont le plus souvent graves, nous expliquerons ce fait ultérieurement.

RELATIONS ENTRE CIRCONSTANCES ACCIDENTOLOGIQUES, LÉSIONS

OSSEUSES ET NEUROLOGIQUES (à propos des 90 cas de l'Hôpital
Henry Gabrielle)

LES RESULTATS

Nous étudions, en fonction de l'évolution clinique neurologique, le niveau osseux supérieur atteint puis la progression du niveau supérieur de l'atteinte nerveuse.

Lors des retournements

concernent 44 cas parmi lesquels 4 ne comportent pas de trouble neurologique associé à la lésion osseuse.

Les abréviations suivantes ont été utilisées dans les tableaux : PLNI : pas de lésion nerveuse initiale

PLO : pas de lésion osseuse

Evolution du type neurologique	Segment osseux supé- rieur atteint	Niveaux supérieurs neurologiques atteints
A → A	C	C5 → C5 C5 → C8 C6 → C6 C7 → C7 x 3 C7 → C8 x 2
	DH	D4 → D6 D5 → D5 x 3 D5 → D7 D6 → D6 x 2 D7 → D7
	DB	D7 → D7 D9 → D9 D10 → D10 x 4 D11 → D11 D11 → L1
	Ch	D12 → L1
A → C	C	C5 → C5 C6 → C5 C6 → C6
A → D	C	C4 → C5
	Ch	L1 → L1
	LS	L2 → S4
A → E	C	D6 → .
B → C	C	C7 → C7
B → D	C	C7 → C7
B → D	C	C6 → C6 C7 → C7
D → E	DB	L1 → .
PLNI → D	Ch	. → L4
PLNI → E	DH	. → .
	LS	. → .

Lors des chocs frontaux

- 2 cas sur 26 sans lésion neurologique.

Evolution du type neurologique	Segment osseux lésé	niveaux supérieurs neurologiques atteints
A → A	DH	D4 → D4 D4 → D6 D5 → D6 x 2 D6 → D7 D7 → D7
	DB	D10 → D11 D12 → D12
	Ch	D12 → D12 D12 → L1 L1 → L4
A → B	C	C5 → C6 C8 → C7
	DH	D6 → D6
A → C	PLO	D6 → D7
A → D	C	C7 → C8
	DB	D11 → D11
B → D	C	C4 → C7
	PLO	C5 → C5
C → D	Ch	D12 → L1
	PLO	C5 → C5
D → D	LS	C6 → C5
PLNI → C	Ch	. → L4
PLNI → D	C	. → C7
<u>Lors des éjections</u>		
A → A	C	C7 → C7
A → B	C	C4 → C6
A → D	C	D1 → L1
C → D	Ch	L1 → L1
PLNI → C	Ch	. → L4

Lors des chocs arrière		
A → A	C	C6 → C8
	DH	D5 → D6
	DB	D11 → D11
A → C	C	C4 → C5
		C5 → C5
	PLO	D5 → C7
A → D	C	C7 → C4
B → C	DH	D3 → D5
Lors des chocs latéraux droits		
A → A	DH	D2 → D5
	DB	D10 → D12
	Ch	L1 → L1
A → B	C	C7 → C7
B → C	C	C7 → C8
C → D	C	C7 → C7
Lors du choc latéral gauche		
A → A	DH	D4 → D6

DISCUSSION DE CES RESULTATS SELON L'EVOLUTION DE L'ATTEINTE NEUROLOGIQUE

Stabilité de l'atteinte neurologique

Dans de nombreux cas, il existe une stabilité du niveau d'atteinte aussi bien dans la gravité que dans la hauteur.

En fonction des circonstances des accidents, pourcentage des lésions neurologiques restant stables au même niveau ou présentant une différence d'un seul métamère (assimilée à une stabilité étant donné les erreurs possibles lors de l'examen clinique initial) par rapport aux lésions neurologiques non aggravées dans le sens vertical.

Retournement	C.F.	E.	C.A.	C.L.
77 %	86.4 %	50 %	66.7 %	57.1 %

On pourrait s'attendre à une meilleure récupération verticale grâce à la disparition de l'oedème et aux suppléances vasculaires, tout au moins sur deux à trois segments. Nous rappelons ici que des mesures de sauvegarde des éléments neurologiques doivent être mis en place en urgence, notamment l'emploi systématique des anti-inflammatoires stéroïdiens.

Les cas avec récupération importante

- Ce sont les cas A D, ils correspondent au passage d'un état
- | | | |
|---|---|--|
| A | E | moteur nécessitant l'usage du fauteuil |
| B | D | roulant à un état d'indépendance loco- |
| B | E | motrice. |
| C | D | |
| C | E | |

Tout au long de ce chapitre, nous présenterons les dossiers selon le même plan :

- les circonstances de survenue
- l'évolution du type neurologique
- le segment osseux supérieur lésé
- les niveaux supérieurs d'atteinte nerveuse lors des phases initiale et stabilisée
- puis le dossier anatomoclinique
 - . type d'atteinte osseuse
 - . éventuellement traitement
 - . description du trouble neurologique.

Retournement A $\longrightarrow$ E, C, D6 $\longrightarrow$.

- . fracture des pédicules de C2 + fracture comminutive du corps de C7
- . tétraplégie complète
- . pose d'un étrier de CRUTCHFIELD puis de plaques de ROY-CAMILLE
- . la récupération se fait en 6 mois

A $\longrightarrow$ D, C, C4 $\longrightarrow$ C5

- . fracture tassement corporel + fracture du massif articulaire supérieur droit de C4
- . pose d'un étrier de CRUTCHFIELD
- . la tétraplégie initiale évolue vers un syndrome de BROWN-SEQUARD droit transitoire
- . à la phase stabilisée, il ne persiste que des troubles moteurs au niveau du membre supérieur droit

A $\longrightarrow$ D, Ch, L1 $\longrightarrow$ L2

- . fracture tassement corporelle de L1 avec recul du mur postérieur
- . récupération de la motricité avec force cotée 3,4 au test musculaire, spasticité des zones périnéales

A $\longrightarrow$ D, L.S., L2 $\longrightarrow$ S4

- . fracture tassement du corps de L2
- . récupération rapide des muscles sans déficit résiduel, persistance d'un déficit sensitif en S4, S5

B → D, C, C7 → C7

- . fracture luxation de C6 sur C7
- . pose d'un étrier de CRUTCHFIELD puis de plaques de MULLER suivie d'une corporectomie de C6 et greffe antérieure
- . dans les premiers temps, existence d'un syndrome de SCHNEIDER type central
- . après évolution, persistance de troubles de type syndrome de BROWN-SEQUARD mineur, la marche se fait grâce à une attelle courte type "St Genis-Laval" (antivarus, antiéquin).

C → D, C, C6 → C6

- . luxation complète C4/C5 avec fracture des apophyses articulaires inférieures de C4
- . pose d'un étrier de CRITCHFIELD
- . la tétraplégie immédiate de type hémimédullaire droit évolue vers une récupération presque complète des fonctions sensorimotrices

C → D, C, C7 → C7

- . luxation de C6/C7 avec fracture antéro-supérieure du corps de C7
- . étrier de CRUTCHFIELD puis greffe intercorporelle antérieure
- . la tétraplégie incomplète du début persiste surtout aux membres supérieurs évoquant un syndrome centromédullaire

Choc frontal A → D, DB, D11 → D11

- . fracture luxation de D11 avec recul de 5 mm du mur postérieur
- . paraplégie immédiate complète qui ne laisse persister, 10 mois après, qu'une spasticité moyenne des membres inférieurs

A → D, C, C7 → C8

- . luxation de C7/D1
- . la tétraplégie immédiate laisse place rapidement à une paraplégie après pose de plaques de ROY-CAMILLE (10e jour post-opératoire)
- . il persiste un trouble intéressant uniquement le métamère C8 sur le plan moteur et une analgésie thermoalgique à partir de D1

B → D, C, C4 → C7

- . luxation de C3/C4
- . quadriplégie sans trouble sensitif
- . pose d'étrier de CRUTCHFIELD puis plaques de ROY-CAMILLE
- . 3 mois après il ne persiste qu'une parésie dans les territoires C7, C8, D1

B → D, pas de lésion osseuse, C5 → C5

- . tétraplégie incomplète en C5 qui évolue en un syndrome de BROWN-SEQUARD droit avec muscles cotés 3,4 au testage

C → D, Ch, D12 → L1

- . fracture luxation de D12/L1
- . monoplégie immédiate du membre inférieur gauche et troubles urinaires
- . l'évolution neurologique laisse des muscles cotés 3 + à 5 cm au test musculaire ; la vessie neurologique reste de type périphérique

C → D, pas de lésion osseuse, C5 → C5

- . syndrome de SCHNEIDER type antérieur qui récupère en laissant des muscles cotés 1 à 3 au membre supérieur droit, 2 + à 4 au membre supérieur gauche et une spasticité prédominant aux membres inférieurs

EJECTION A → D, C, D1 → D6

- . fracture de l'apophyse articulaire supérieure droite D1 avec sub-luxation C7/D1
- . ostéosynthèse par plaques de ROY-CAMILLE
- . paraplégie d'emblée complète en D1
- . 18 mois après l'accident, persistance de troubles sensitifs dissociés en D6 et des muscles des membres inférieurs cotés 3 à 4 +, permettant une marche appareillée grâce à deux orthèses jambières

C → D, Ch, L1 → L1

- . fracture luxation de L1 avec important recul du mur postérieur
- . ostéosynthèse
- . la paraplégie immédiate est incomplète avec troubles sensitifs mal systématisés et persistance de quelques mouvements des pieds
- . la récupération post-opératoire laisse des muscles cotés de 3 à 5

Choc arrière A → D, C, C7 → C4

- . fracture de l'arc postérieur de C2 avec luxation C2/C3
- . après pose d'un étrier de CRUTCHFIELD, la tétraplégie complète se transforme en syndrome de SCHNEIDER type antérieur, la récupération se fait ensuite sur cinq mois laissant des muscles évalués de 3 à 5 et une spasticité.

Choc latéral droit C → D, C, C7 → C7

- . fracture de l'apophyse articulaire inférieure gauche de C7 avec luxation C7/D1 réduite par étrier de CRUTCHFIELD
- . la tétraplégie incomplète évolue alors vers un syndrome de BROWN-SEQUARD gauche

Que nous apprennent ces dossiers ?

- Dans 9 cas sur 17, la lésion de l'axe vertébro-médullaire est cervicale (C1 → D1 inclus). Dans un cas, il existe une dissociation entre les deux atteintes. Le traitement concernant ces blessés a été prompt, consistant en la pose d'un étrier de CRUTCHFIELD (88) (créant les conditions du test en tension ou "stretch test" de WHITE et PANJABI (109). Cet étrier, de pose aisée, permet une réduction immédiate ainsi qu'une contention. Il s'adresse aux lésions du rachis cervical réalisées en flexion alors que les lésions en extension et l'association à des lésions de la boîte crânienne constituent des contre-indications. La fixation chirurgicale par plaque ou greffe est réalisée secondairement dans 6 cas sur 10. On retrouve les mêmes constatations concernant une meilleure récupération des lésions cervicales dans une étude statistique de l'Hôpital de STOKE MANDEVILLE, portant sur 612 fractures avec atteinte nerveuse, et rapportée par M. MAURY et Ph LACERT (52). Elle établit que les lésions médullaires dorsales ont le plus sombre pronostic, les lésions cervicales sont moins graves, les plus rares et les moins graves sont lombaires. Ces conclusions sont confirmées par J. BENASSY J., BLANCHARD et P. LECOQ (8). Ils ajoutent que les paraplégies apparues secondairement, notamment de niveau dorsal, sont de meilleur pronostic que celles qui s'installent d'emblée.

- Dans 2 cas, il n'existe pas de lésion osseuse apparente. Nous y reviendrons.

- Dans 12 dossiers, nous trouvons une luxation complète ou une rupture du mur postérieur ; la rapidité de l'intervention thérapeutique est alors un facteur primordial de récupération (26).

- Pendant la phase aigue, il semble que les blessés présentant un affaiblissement moteur sévère et très peu ou aucune diminution des fonctions sensorielle ont une amélioration plus importante que les blessés présentant une lésion mixte (11).

Les atteinte incomplètes neurologiques posent les problèmes de fixation osseuse du rachis les plus délicats ; il faut cependant les résoudre rapidement. Cette promptitude commence sur les lieux du ramassage du blessé (nous le verrons dans le chapitre des préventions), permettant à l'équipe soignante comprenant un rééducateur, de prendre une décision efficace (9).

Ascension du niveau lésionnel malgré une récupération sous lésionnelle

Alors que l'évolution globale est favorable, on assiste à l'atteinte d'autres métamères.

Les cas :

- tonneaux A → C, C, C6 → C5

- . fracture luxation de C5/C6 avec rupture du mur postérieur
- . pose d'un étrier puis greffe et cerclage postérieur
- . tétraplégie C6 complète
- . mais alors que s'amorce une récupération lésionnelle revêtant l'aspect d'un syndrome de SCHNEIDER type I, le niveau lésionnel s'étend vers le haut de C6 à C5 ; les muscles relevant de ce métamère ne sont plus cotés qu'à 2 et 3 au test musculaire

- Choc arrière A → D, C, C7 → C4

- . fracture de l'arc postérieur de C2 avec luxation de C2/C3
- . pose d'un étrier

- . la tétraplégie C7 immédiate évolue vers un syndrome de SCHNEIDER type 1 mais avec ascension du syndrome lésionnel jusqu'en C5.

A → C, pas de lésion osseuse D5 → C7

- . "pas de fracture, pas d'arrêt du lipiodol à la myélographie" lors de l'examen initial
- . paraplégie complète flasque de niveau D5. La sensibilité réapparaît assez rapidement au niveau des membres inférieurs, le pied droit est animé de quelques mouvements volontaires.
- . le blessé entre deux mois et demi après son accident à l'Hôpital Henry Gabrielle, la lettre de liaison ne mentionne pas de suspicion d'évolution ascendante. On remarque alors une fissure du bord antérieur de C7 et un décalage postérieur de C7 plus prononcés sur les clichés de 3/4 alors que l'évolution neurologique se fait sur le mode d'un syndrome de BROWN-SEQUARD gauche avec atteinte de type vasculaire en C8 D1.

On doit évoquer pour les trois premiers cas, la survenue de phénomènes oedémateux au niveau lésionnel ; ils s'associent à une ischémie médullaire dans les territoires susjacents. Nous retrouvons ici la notion d'ischémie de territoire. Dans le quatrième dossier, il semble s'agir d'une lésion cervicale à symptomatologie suspendue, initialement méconnue, le décalage existant entre les deux niveaux étant suffisamment important pour faire penser à une contusion dorsale isolée. Un déplacement secondaire du rachis cervical, probablement pendant le transport vers le centre de rééducation, a entraîné une lésion plus étendue de la moelle, faisant remonter la symptomatologie au niveau lésionnel cervical : un examen neurologique et rachidien initial plus minutieux eut permis de suspecter l'existence d'un foyer rachidien cervical. La région C7 D1 mérite une attention particulière : une radiographie standard de profil du rachis cervical ne permet pas de la dégager ; il faut, pour l'étudier, prendre le cliché en position d'antépulsion et abaissement complet des ceintures scapulaires.

Ce dossier est à la limite des cas étudiés dans les deux chapitres suivants.

Les cas sans lésion osseuse visible associée au trouble neurologique

Les dossiers :

- Choc frontal A → C, D6 → D7

- . le sujet est âgé de 43 ans lors de l'accident
- . il présente une paraplégie immédiate D6
- . elle évolue vers une paraplégie de niveau D7 avec muscles cotés de 0 à 3 +, anesthésie D7 à tous les modes en dehors d'une hypoesthésie des territoires S3, S4, S5, existence d'une spasticité

B → D, C5 → C5

- . 45 ans, présence d'une importante arthrose cervicale avec sténose du canal rachidien cervical et léger rétro-listhésis de C3/C4 connu avant l'accident
- . tétraplégie immédiate C5 incomplète avec dissociation sensitive
- . elle évolue sur le mode d'un syndrome de BROWN-SEQUARD droit avec atteinte de la corne antérieure en C5, C6, C7 mais surtout C8, D1.

C → D, C5 → C5

- . 20 ans à l'époque de l'accident
- . au réveil d'un coma de 36 heures après traumatisme cranien, constatation d'un syndrome de SCHNEIDER type central. La récupération se fait jour après jour, si bien que lors de la sortie du centre, il persiste des troubles de sensibilité thermoalgique à partir de C5 mais bonne récupération de la force musculaire avec une exagération de la tendance spastique

- Choc arrière A → C, D5 → C7

Le dossier a déjà été exposé dans le chapitre précédent, le sujet avait 33 ans à l'époque de l'accident

Quelle est la pathogénie de ces lésions ?

- Dans le premier cas, nous rencontrons une atteinte neurologique de niveau dorsal sans lésion osseuse, cas rare. Le seul indice laissant suspecter un traumatisme violent de la région thoracique est la fracture des arcs moyens des 3, 4, 5, 6, 7e côtes gauches. Le trouble neurologique a été grave puisque il ne dépasse pas la classe C (motricité inutilisable) à la phase stabilisée. Nous évoquerons dans ce segment peu vascularisé une atteinte de l'artère spinale antérieure lors d'une hyperflexion.

- Dans le deuxième cas, la lésion semble liée à des forces de contact (entraînant une commotion médullaire) contre les parois du canal rachidien en mauvais état ; la lésion évolue favorablement dans ce cas.

- Le troisième tableau, à type de syndrome de SCHNEIDER type II, évoque les cas décrits par D.C. BURKE (14) ; leur pathogénie, dans un mouvement rachidien d'hyperextension, peut être liée à plusieurs causes (application des forces de contact, des forces de sollicitation rapportées à la moelle)

- Dans le quatrième dossier, nous retrouvons une contusion médullaire dorsale de type antérieur : ischémie plus qu'application de forces de contact dans cette région où n'existe pas de renflement et où le rachis présente une cyphose.

Atteinte neurologique apparue après un temps de latence (6 dossiers)

Les cas (PLNI : pas de lésion neurologique initiale)

- Tonneaux PLNI → D, Ch → L4

- . fracture luxation de L1/L2 avec recul du mur postérieur
- . apparition secondaire d'une paraplégie incomplète, sur les lieux de l'accident, avant l'intervention des services de secours; de type flasque, elle évolue vers la spasticité

PLNI → E, DH, . → .

- . luxation postérieure du massif articulaire droit de D6 et du mur postérieur après fracture de la lame droite et des deux pédicules
- . paraplégie complète D6 apparue lors du transfert de la table de radiologie au lit
- . le chirurgien pratique alors une laminectomie, une réduction et une fixation par plaques de ROY-CAMILLE
- . dans les suites post-opératoires, les troubles neurologiques régressent

PLNI → E, LS, . → .

- . fracture luxation de L3/L4 avec rupture des deux apophyses articulaires inférieures de L3
- . apparition secondaire d'un trouble neurologique s'étendant de L4 à S2 à droite et de L3 à S1 à gauche
- . réduction et fixation par plaques de ROY-CAMILLE, la récupération complète s'effectuant après l'opération

- Choc frontal PLNI → C, Ch, → L4

- . fracture de L1 avec recul de 3 mm du mur postérieur
- . apparition d'un syndrome paraparétique de niveau L1 quelques jours après l'accident
- . une laminectomie alors pratiquée découvre une rupture de l'étui dural au bord inférieur de L1
- . il persiste un déficit neurologique à partir de L4

PLNI → D, C, → C7

- . ce dossier est caractérisé par l'ignorance de la lésion osseuse lors d'un coma par traumatisme crânien sans signe de BABINSKI. Deux jours après on note la disparition des réflexes cutanés abdominaux, une hypotonie des membres ; après de graves complications pulmonaires et plusieurs poussées d'œdème cérébral (qui mobilisent toute l'attention des thérapeutes) on découvre 22 jours après l'accident un déficit moteur à type d'hémi-parésie droite spastique : on la rattache à une lésion cérébrale. Trente-trois jours après, mise en évidence d'une tétra-

plégie C7 à prédominance droite avec syndrome pyramidal. Des radiographies du rachis cervical objectivent une fracture tassement corporeale C6 avec luxation de C6/C7 et recul du mur postérieur

- . une réduction avec fixation par plaques de ROY-CAMILLE est réalisée quarante jours après l'accident. La récupération se fait sous le mode d'un syndrome de BROWN-SEQUARD droit de niveau C7

- Ejection PLNI → C, Ch → L4

- . fracture luxation comminutive de L1 avec recul du mur postérieur
- . le blessé ressent une violente douleur lombaire lors du dégagement hors du véhicule puis perd connaissance pendant quarante-cinq minutes.
- . au réveil, on note une paraplégie flasque L3 avec conservation de la sensibilité tactile.
- . pose de plaques de ROY-CAMILLE après réduction
- . il persiste un déficit neurologique grave (classe C, motricité "inutilisable")

Devant de tels dossiers, une question se pose : s'agit-il d'un examen initial défectueux ou d'une véritable aggravation ?

Il semble que dans la plupart de ces cas, la deuxième hypothèse soit à retenir. En effet, l'apparition brutale des troubles a été notée ; elle évoque soit un mécanisme vasculaire soit un déplacement secondaire. Dans le 3e cas, la lésion neurologique se situait dans des territoires souvent peu accessibles chez un poly-traumatisé (rappelons la nécessité de l'étude systématique des réflexes périnéaux chez un blessé grave), peut-être existait-elle initialement. Nous en rapprocherons le dossier évoqué lors des deux chapitres précédents (survenu en choc arrière avec ascension du niveau neurologique). Le dossier concernant le sujet comateux nous permet d'évoquer la difficulté du diagnostic de l'atteinte pyramidale à la phase de choc spinal lors d'un coma et l'obstination avec laquelle on doit rechercher une lésion osseuse cervicale avant de mettre le cou en extension pour intuber le blessé. La survenue d'une telle

lésion neurologique après un temps de latence, peut être due à l'apparition d'un hématome intramédullaire ou des espaces méningés lors de l'emploi de produits anticoagulants (institué à titre systématique chez tout sujet alité).

Ces divers cas nous rappellent que les règles de ramassage des blessés rachidiens sont impératives, nous le reverrons ; que les lois de l'instabilité des lésions osseuses doivent être connues de tous les soignants dans les services d'urgence, et que des examens radiologiques et isotopiques permettent d'apprécier l'état des structures intercanalaires devant de gros dégâts osseux.

L'étage le plus souvent mis en cause est celui de la charnière dorsolombaire (trois fois sur six). Il est certain que sa contention lors du ramassage et des déplacements est l'objet de moins d'attention que pour le rachis cervical.

Atteinte osseuse isolée

Les six cas :

- Lors des tonneaux

- . fracture de L1 avec léger recul du mur postérieur. Mono-traumatisme traité par plâtre de BOELHER
- . fracture de D11 sans recul du mur postérieur dans le cadre d'un polytraumatisme
- . fracture comminutive du corps de C2 avec rupture de l'odontoïde et luxation postérieure. Coma de quinze jours. Traitement par étrier de CRUTCHFIELD puis minerve plâtrée
- . fracture corporeale de D9, polytraumatisme

- Lors de chocs frontaux

- . luxation complète de L1 sur L2 avec accrochage des articulaires vérifiée lors de la réduction par traction flexion et ostéosynthèse, port de corset plâtré. On a seulement noté tout de suite après le traumatisme une rétention aiguë d'urine spontanément régressive (elle est très fréquente lors des lésions osseuses isolées)
- . fracture du coin supérieur de L2

La première remarque concerne la situation dorsolombaire des atteintes osseuses, sans grand déplacement, sauf dans la luxation complète dont l'image radiologique est très impressionnante.

La fracture axoïdienne représente un cas rare de survie dans les lésions de cette région ; lors des autopsies, elle est souvent retrouvée comme cause létale. Rappelons la difficulté du diagnostic des fractures de l'odontoïde et le danger de sa méconnaissance chez le polytraumatisé, sa recherche doit être systématique (82) (74) (25). L. FISCHER, dans sa thèse décrit dix fractures isolées de l'atlas et trente-sept de l'axis (dont trente-trois de l'apophyse odontoïde).

Après avoir cerné les lésions de l'axe vertébro-médullaire et leur rapport avec les circonstances accidentologiques, il nous faut étudier les lésions associées et les causes de décès, avant d'aborder la synthèse biomécanique.

RELATIONS EXISTANT ENTRE LES CIRCONSTANCES ACCIDENTOLOGIQUES ----- ET LES LÉSIONS ASSOCIÉES EXTRARACHIDIENNES -----

G. ADLI, dans une étude portant sur 1 221 cas de paraplégie, met en évidence le fait que 90 % des blessés par accident de circulation (dont 70 % sont des collisions d'automobiles) sont porteurs de lésions associées à la paraplégie (1).

E. GOGLER (31^{*}), sur 39 automobilistes blessés vertébraux, en dénombre 28 (soit 71,8 %) avec des lésions associées.

Dans un premier temps, nous présenterons ces lésions en fonction de la direction de choc et des niveaux osseux rachidiens (lésions des cadavres autopsiés comprises, donc portant sur cent dossiers) puis nous exposerons les mécanismes de survenue en général.

LES TABLEAUX

Retournement et lésions extravertébrales associées

Segment vertébral intéressé/ lésions extravertébrales associées	C C1 à D1	DH D2 à D6	DB D7 à D11	Ch D12 à L1	LS L2 à L5
traumatisme crânien +/- perte de connaissance, sans fracture céphalique	11	3	3	1	2
fracture céphalique	2				
fracture et luxation du membre supérieur, ceinture scapulaire exceptée			2		
fracture de la ceinture scapulaire			2		1
fracture et luxation du membre inférieur	1				
fracture et luxation du bassin		1	2		
lésions des viscères abdominaux			1		
fractures de côtes (1, 2 ou 3 côtes fracturées)	1	4	1		
+ de 3 côtes fracturées		1	3		

Choc frontal et lésions extrarachidiennes associées

Segment vertébral intéressé/ lésions extrarachidiennes associées	C C1 à D1	DH D2 à D6	DB D7 à D11	Ch D12 à L1	LS L2 à L5
traumatisme crânien +/- perte de connaissance sans fracture céphalique	4	1	2	2	1
fracture céphalique	3	1	1		
fracture et luxation du membre supérieur, ceinture scapulaire exceptée	4	1		1	1
fracture et luxation du membre inférieur	6	3		2	
fracture et luxation du bassin	1		1		
lésions des viscères abdominaux	2			1	2
fractures de côtes (1,2 ou 3 côtes fracturées)	2	2		1	
plus de 3 côtes fracturées	4	2			

Autres types de chocs et lésions extravertébrales associées

<u>Choc arrière</u>					
Segment vertébral intéressé/ lésions associées	C C1 à D1	DH D2 à D6	DB D7 à D11	Ch D12 à L1	LS L2 à L5
traumatisme crânien +/- perte de connaissance sans fracture céphalique	2	1	1		
fracture de la ceinture scapulaire		1	1		
fracture et luxation du bassin			1		
lésions des viscères abdo- minaux			1		
fractures de 1,2 ou 3 côtes		1			
fractures de + 3 côtes			1		
<u>Choc latéral droit</u>					
traumatisme crânien +/- perte de connaissance sans fracture céphalique		1		1	
fracture de 1,2 ou 3 côtes		1	1		
<u>Choc latéral gauche</u>					
fracture de la ceinture scapulaire		1			
fracture de + 3 côtes		1			
<u>Ejection</u>					
traumatisme crânien +/- perte de connaissance sans fracture céphalique	2			2	
fracture et luxation du membre inférieur				1	

LES STATISTIQUES DE LESIONS ASSOCIEES SELON DIVERS AUTEURS

	E. GOGLER	MONIATTE rapporté par G. RIEUNAU	G. ADLI	notre étude
tête	74.3 %	42	33.2* %	46
rachis	5.82			
thorax	21.2	9	28.1	27
abdomen	6.42	5	21.4	7
bassin	3.73	4	8.44	6
memb. sup.	23.7	17	19.3	15
memb. inf.	19.2	35	17.5	13

* dont coma : 6.5

E. GOGLER (31[★]) a étudié 670 dossiers d'automobilistes accidentés dans 269 collisions.

La statistique de MONIATTE porte sur 467 cas (78). Ces deux études ne concernent pas une population de blessés vertébro-médullaires par accident automobile, mais des blessés tous venants par collision de quatre roues.

G. ADLI (1) a étudié 1221 paraplégies traumatiques. 604 paraplégies présentaient des lésions associées (49,46 %), 37,2 % des traumatismes se sont produits lors de collisions d'automobiles. Les pourcentages rapportés concernent les lésions associées quelque soit la cause de l'accident.

La différence entre ces accidents d'un recrutement dissemblable du nôtre réside dans le nombre de lésions céphaliques et des membres inférieurs (sauf pour G. ADLI). En ce qui concerne les premières, il est certain que la différence tient à la définition des critères de sélection adoptés. Quant aux lésions des extrémités inférieures, nous pouvons affirmer que la dissemblance est liée à la typologie du choc mis en cause ; ces lésions surviennent principalement lors des chocs frontaux (8 cas sur 10) alors que notre travail comporte un grand nombre de retournements.

PATHOGENIE DES LESIONS ASSOCIEES EXTRARACHIDIENNES

Les traumatismes crâniens, les pertes de connaissance et les fractures des os du crâne

Nous les avons considérés à l'instant du traumatisme. Dans presque tous les cas, la perte de connaissance a été brève ; dans un seul cas nous avons noté des séquelles neurologiques encéphaliques après un coma profond et prolongé.

Les pertes de connaissance brèves sont liées au mouvement de masse du cerveau lors de la projection du crâne contre un obstacle ou lors de l'arrêt brutal du corps par la ceinture de sécurité (31[★]). Elles existent dans 39 cas sur 90, soit 43 %. Si nous reportons les chiffres au nombre total de blessés par type de choc, nous remarquons que la fréquence est identique pour chaque type et que le retournement ne privilégie pas cette lésion associée.

Le nombre plus grand de fractures des os de la boîte crânienne en choc frontal est lié à quatre accidents mortels dans ce type de collision.

Les traumatismes thoraciques

Ils entrent le plus souvent dans le cadre de polytraumatismes et sont fréquemment associés à des lésions vertébrales dorsales. Ils résultent du choc direct contre un objet contondant, tel que le volant ou le tableau de bord.

Les lésions abdominales

Le mécanisme est un choc direct. Les sept lésions concernent :

- . 4 fois la rate
- . 2 fois le foie
- . 1 fois l'aorte descendante (rupture)

Dans cinq cas le blessé est conducteur et dans deux cas passager avant droit.

Citons les lésions du rein à rechercher systématiquement par urographie intraveineuse dans les atteintes vertébrales en D11, D12, L1 et L2 au cours des premières heures (19).

Le membre supérieur et la ceinture scapulaire

Lésés par choc direct ou indirect créant une gamme de lésions très large, ces atteintes peuvent rarement être prévenues par une protection appropriée étant donné la vitesse de survenue des collisions.

Le bassin

Avec les lésions des membres inférieurs, celles du bassin sont plus faciles à rattacher à des circonstances accidentologiques ; aussi, nous attarderons nous sur leur étude.

Les atteintes observées

- lors des choc frontaux, une disjonction pubienne et une luxation de hanche gauche avec fracture du sourcil cotyloïdien chez deux conducteurs non ceinturés

- lors de retournements : une disjonction pubienne chez un passager avant droit non ceinturé alors qu'il n'y a pas eu de choc initial
 - : une fracture bilatérale des branches ischio-et ilio-pubienne chez un conducteur non ceinturé, pas de choc précédent le retournement
 - : un fracas de l'aile iliaque gauche dans le cadre d'un polytraumatisme grave, chez un passager arrière gauche
- lors d'un choc arrière, survenue d'un polytraumatisme grave avec disjonction sacro-iliaque et pubienne droite, rupture de rate, fractures de côtes droites, fracture de l'omoplate droite, fracture des apophyses articulaires de D11 et D12 avec luxation, coma de un mois sans séquelle ; le choc postérieur a été primitif et extrêmement violent, et a été suivi d'un impact frontal droit

Ces lésions sont graves car elles surviennent chez des malades fragilisés par leur lésion médullaire, leur pathogénie est en général un choc direct, transversal le plus souvent, ce qui explique leur fréquence lors des retournements. Quant à la disjonction pubienne en choc frontal, elle apparaît dans un accident d'une grande violence avec déformation impressionnante du véhicule et décès par rupture de l'aorte. La fracture du cotyle est la conséquence de la luxation de hanche : c'est le classique contact des genoux contre le tableau de bord qui l'entraîne. Le dernier dossier comporte un choc latéralisé, il peut expliquer l'atteinte du bassin avec l'expression de très grandes forces lésionnelles.

Le membre inférieur

Ici aussi nous décrirons les aspects anatomopathologiques.

- En choc frontal :
 - . fractures multiples avec luxation des os du métatarse gauche chez un conducteur non ceinturé. Décès. Fracture de C5 et C6
 - . fracture du plateau tibial droit chez un conducteur, pas de ceinture de sécurité. Décès. Fracture de C6
 - . luxation du genou gauche avec fracture de la tête des métatarsiens gauches chez un conducteur portant

une ceinture, mais dans un choc très violent avec grande déformation du véhicule, fracture de L1

- . fracture supracondylienne et diaphysaire du fémur gauche, du plateau tibial gauche, de la malléole interne droite, conducteur sans ceinture, fracture de D4 et de C2
- . luxation de hanche gauche chez un conducteur, le port de la ceinture n'a pu être établi, il n'existait pas de lésion osseuse vertébrale
- . fracture de la malléole interne gauche chez un conducteur de camion, pas de lésion vertébrale
- . fracture de DUPUYTREN droite chez un conducteur de camion dans un grand polytraumatisme (fracture cervicale + dorsale basse + de la charnière dorsolombaire)
- . fracture comminutive de jambe gauche avec rupture des ligaments latéraux externes de cheville droite, conducteur non ceinturé, fracture de C2.

- Lors d'une éjection :

- . fracture de la diaphyse fémorale gauche chez un passager avant droit qui, au moment où le véhicule a commencé à zigzaguer sur la route, a ôté sa ceinture de sécurité. Fracture de L1

- Lors d'un retournement, sans éjection

- . fracture du calcanéum gauche chez un conducteur non ceinturé

Les mécanismes physiopathologiques des diverses lésions observées :

- la luxation de hanche est, nous l'avons vu, liée à un choc indirect sur le genou
- les fractures fémorales diaphysaire et de l'extrémité inférieure sont dues, le plus souvent, à un choc indirect créant des forces de torsion, d'inflexion et de cisaillement
- la luxation du genou nécessite un choc direct extrêmement violent portant sur l'extrémité fémorale inférieure ou tibiale supérieure

- la fracture du plateau tibial par tassement en valgus ou varus forcé se fait le plus souvent par choc indirect
- les os de la jambe se brisent par choc direct souvent mais aussi indirect en flexion, compression, torsion
- les fractures malléolaires se réalisent par mouvements pédieux rapportés au niveau de la cheville
- le calcanéum se fracture lors de compressions axiales
- au niveau métatarsien, la fracture est due à un choc direct alors qu'il peut être indirect pour la luxation.

L'ÉTIOLOGIE DES DÉCÈS (portant sur 10 dossiers)

LES DOSSIERS

Ils ont été analysés dans la thèse de J. SIVARD (93) et dans un travail de M. RAMET et D. CESARI (77).

Lors de chocs frontaux, on observe une rupture de l'aorte descendante, une fracture du crâne avec lésions encéphaliques importantes, une hémorragie méningée diffuse sans fracture du crâne, un important hématome pariétal bilatéral avec fracture du crâne, de C1 et de C2, un éclatement splénohépatique associé à un hématome frontopariétal par fracture du crâne, une déchirure du myocarde associée à la même lésion céphalique.

Lors d'une éjection, la seule constatation anatomique a été la découverte de sang dans les méninges cervicales sans lésion rachidienne.

Lors de chocs latéraux gauches, une hémorragie méningée diffuse sans fracture crânienne, un hématome cardiaque et médiastinal.

Deux fois on retrouve une éjection associée à des tonneaux, les lésions mortelles consistent en un hématome fronto-occipital avec fracture du crâne, de C1, C2 et C3, une rupture de rate et une hémorragie cérébrale diffuse sans lésion osseuse.

Deux remarques s'imposent : il existe une prédominance des lésions cranio-encéphaliques (dans 6 dossiers) et de multiples lésions peuvent être rendues responsables de l'issue fatale.

LES MECANISMES (76)

La fréquence de la rupture de l'aorte augmente dans les statistiques de traumatologie routière, c'est la cause la plus fréquente parmi les lésions thoraciques létales. Elle est liée à la conjonction de plusieurs facteurs : une variation de pression dans le vaisseau associée à un déplacement des viscères intrathoraciques et à l'existence de zones de moindre résistance au niveau de la paroi aortique.

Les lésions le plus souvent responsables de la mort se trouvent à l'étage cranio-encéphalique, il s'agit fréquemment de véritables écrasements du crâne avec perte de substance cérébrale. Les fractures de la base sont également retrouvées régulièrement, elles résultent habituellement d'un choc direct temporopariétal. Les fractures circulaires (55) péricondyliennes de petit diamètre purement occipitales nécessitent une force très violente dirigée dans l'axe de la colonne et appliquée sur le sommet du crâne ou sur les ischions. Les fractures circulaires péritentorielles de grand diamètre sont produites soit par une hyperextension sans grande violence (liée à une force appliquée, au niveau du front ou du menton, ou par inertie après un choc arrière projetant le tronc en avant) ; soit par une hyperflexion avec traction de la tête dans l'axe de la colonne cervicale lors d'une décélération brutale alors que le tronc est fixé.

Les lésions abdominales présentent dans un cas l'association de rupture du foie et de la rate par choc contre le volant, dans l'autre cas de rupture de rate, il n'est pas possible de déterminer la zone d'application du choc.

La rupture du myocarde, associée à un grand fracas costal, évoque un impact contre le volant.

Dans le cas où seule est retrouvée la présence de sang méningé cervical : il s'agit certainement d'un traumatisme médullaire sans lésion osseuse tel que nous les avons déjà étudiés.

Nous avons jusqu'ici exposé les lésions dans leur expression anatomoclinique et pathogénique, nous devons maintenant les rattacher, dans un chapitre de synthèse, aux circonstances accidentologiques.

ETUDE SYNTHETIQUE DES LESIONS SOUS L'ANGLE ACCIDENTOLOGIQUE

Au cours de l'accident d'automobile, il existe une interaction entre occupant, véhicule et environnement (pour les éjectés), les lésions corporelles en sont la conséquence. Si on veut proposer des moyens de protection, il faut connaître les mécanismes lésionnels ; aussi, faut-il s'appliquer à l'étude de cette interaction. Ce modèle d'approche est pratiqué par l'Organisme National de Sécurité Routière de façon permanente afin de connaître, pour les différentes catégories d'usagers, les mécanismes lésionnels spécifiques. Ceci permet de proposer les moyens de protection appropriés, en relation avec des études expérimentales portant sur la détermination de la tolérance humaine au choc.

Les accidents d'automobile représentent une part importante des étiologies des traumatismes vertébro-médullaires. Plusieurs auteurs, analysant diverses populations, ont retrouvé les circonstances accidentologiques suivantes. Les deux premières études statistiques concernent des traumatisés de l'axe vertébro-médullaire, les deux suivantes concernent les accidentés "tous venants".

J. SIVARD (93), dans sa thèse inspirée par l'ONSER (77) a étudié 100 autopsies (27 sujets présentaient 31 lésions vertébro-médullaires).

M. RAMET et D. CESARI ont analysé 1 150 dossiers dont 63 présentaient de telles lésions (75), leurs conclusions recoupent celles de MACKAY (G.B.) et de GOGLER (D).

La firme VOLVO a étudié 28 376 cas (12)

A. PATEL et C. GOT (67) se sont intéressés à 430 dossiers.

	J. SIVARD	M. RAMET D. CESARI	Firme VOLVO	A. PATEL C. GOT	Notre étude
Choc frontal	44.5 %	67 %	35.7 %	55 %	32 %
Choc latéral	18.5 %	20 %	33.5 %	17 %	8 %
Retournement	3.7 %	6.5 %	22.1 %	10 %	46 %
Choc arrière	-	6 %	8.7 %	18 %	8 %
Ejection	26 %	-			6 %

Il apparait d'emblée que notre étude comporte le pourcentage de retournements le plus élevé, mais avant d'en rechercher la cause, nous devons exposer quelques notions d'accidentologie.

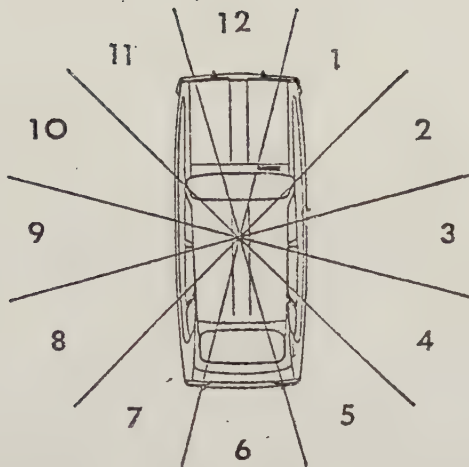
NOTIONS D'ACCIDENTOLOGIE

LE CHOC

Il ne se définit pas par la désignation du point d'impact, mais par sa direction ; c'est elle qui détermine la cinématique de l'occupant et donc le mécanisme lésionnel. Cette direction est celle des forces principales agissant sur le véhicule pendant le choc, rapportée en son centre géométrique.

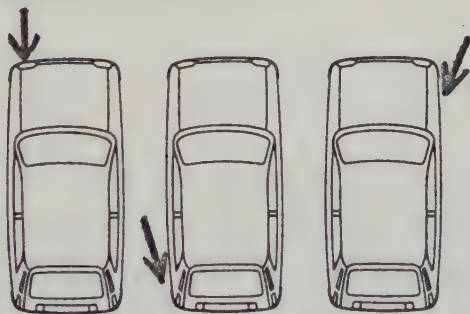
Elle permet de définir le type de collision : on les regroupe en 12 secteurs, dont les bissectrices sont les heures du cadran horaire. Le choc est :

- frontal dans les zones 11, 12, 1
- latéral droit dans les zones 2, 3, 4
- arrière dans les zones 5, 6, 7
- latéral gauche dans les zones 8, 9, 10



Par cette définition, on ne préjuge pas de la zone heurtée sur le véhicule et on peut donc rencontrer des chocs frontaux "latéraux". cependant, la majorité de ceux-ci montre un impact sur la face antérieure.

Exemples de chocs frontaux :



LA GRAVITE DU CHOC (39)

Elle dépend d'un seul facteur : la loi de décélération du véhicule. Celle-ci est bien sûr liée à de nombreuses caractéristiques, principalement la vitesse à l'instant de l'impact et la déformation des parois : lorsque la vitesse d'un véhicule passe de 50 à 100 km/h,

son énergie cinétique est multipliée par quatre puisque la décélération est déterminée par le rapport entre le carré de la vitesse et le double de la distance de freinage (égal à la somme des déformations de l'obstacle et des parois du véhicule).

Le passager subit alors des forces qui sont fonction de ce ralentissement, mais aussi de la distance qui le sépare de la paroi déformée ou non ou des dispositifs de sécurité. La situation d'éveil lui permettra parfois d'esquisser des réactions de défense favorables.

LA DUREE DU CHOC

Lors des chocs frontal, arrière et latéral, la première collision concernant le véhicule dure de 40 à 70 millisecondes, et la deuxième portant sur les passagers s'étend jusqu'à 150 millisecondes.

Lors des retournements, la durée peut être prolongée pendant plusieurs secondes.

LA BIOMECHANIQUE DES CHOCS

Déroulement d'un choc frontal (16)

Un accident en choc avant se produit lorsque le véhicule heurte, alors qu'il se déplace dans son sens normal de marche, un obstacle fixe ou mobile, les forces agissant tant sur le véhicule que sur les passagers sont approximativement orientées suivant l'axe de roulement.

Pour simplifier, prenons l'exemple d'un choc contre un obstacle fixe indéformable.

Il se décompose en deux phases successives : tout d'abord, il y a déformation du véhicule, elle dissipe l'énergie cinétique qu'il possédait avant la collision (phase 1), la vitesse passe alors d'une valeur V à une valeur 0 en fin de déformation ; pendant la seconde

moitié de cette phase 1, les occupants sont mis en mouvement par des forces postéro-antérieures ; leur vitesse de déplacement par rapport à l'habitacle est nulle juste avant le choc et peut atteindre une valeur égale à V en fin de collision s'ils sont libres de leurs mouvements (phase 2), ils heurtent alors la paroi antérieure à vitesse élevée ; la décélération qu'ils subissent est fonction de la distance d'arrêt (une petite distance d'arrêt crée une décélération de valeur élevée et donc une force lésionnelle en rapport). Cette distance est faible par rapport à celle du véhicule : elle est égale à la somme de la déformation du corps humain (quelques centimètres sur le thorax avant fracture) et de la déformation du tableau de bord ou du volant sous la poussée du passager (elle ne dépasse pas 10 cm). Ceci est valable lorsque l'habitacle n'a pas présenté de modification lors de la première phase car si la diminution de ses dimensions peut, théoriquement, être favorable en diminuant la distance d'arrêt, donc la vitesse acquise par le passager, elle crée en réalité un élément hautement agressif par ses déformations et empêche le bon fonctionnement des systèmes de retenue, permettant un heurt contre les parois venues au-devant de l'occupant. En effet, si le passager est ceinturé, il crée avec son véhicule un couple et donc ne subit pas à proprement parler le choc de la phase 2, mais une pression exercée par la ceinture dont la valeur maximale est fonction de la décélération de l'automobile, donc le ralentissement des segments corporels retenus est peu différente de celle du véhicule puisqu'il dispose de la même distance d'arrêt (légèrement augmentée par l'élasticité de la ceinture). Les conditions sont bien différentes, nous l'avons vu, lorsque l'habitacle subit de graves déformations.

On peut, bien sûr, décrire des cinématiques bien plus achevées, mais elles ne sont que la traduction des collisions expérimentales produites sur banc d'essais. En réalité, d'autres facteurs s'associent à cette description, notamment la projection des occupants de la banquette arrière sur le siège avant. Ils le heurtent au niveau du rachis dorsolombaire ou avec la tête créant parfois un arrachement du siège et une projection accélérée du passager avant ou une compression entre la ceinture et le fauteuil (d'où l'importance de la contention des passagers arrière). Des objets

contenus sur la tablette et la banquette postérieures, dans le compartiment à marchandises des camionnettes peuvent aussi migrer vers l'avant.

Le choc arrière

Typiquement c'est la collision "du feu rouge" à petite vitesse mais aussi un choc dans lequel les vitesses des deux véhicules se soustraient au lieu de s'additionner.

Pour A. PATEL et C. GOT (67) le choc arrière est le moins grave : sur 169 occupants de 76 véhicules accidentés en collision postérieure, il existe 1,8 % de blessés graves et 1,2 % de morts chez les non éjectés.

Dans ce type d'impact, le corps est plaqué contre le siège, seul le segment tête-cou reste libre et subit lors de la phase 2 une hyperextension (elle peut atteindre 90°), puis une flexion "de rappel" (coup de fouet). Il existe cependant le plus souvent un élément rotatoire, par exemple lors des chocs postérogauches par dépassement.

La structure du siège est très importante, étant donné que les forces qui lui sont imprimées peuvent le déformer et l'arracher à son socle. Nous verrons aussi que l'appui-tête, associé à la ceinture de sécurité, est un bon facteur de protection pour l'axe vertébro-médullaire en choc arrière.

Le choc latéral

Orthogonal, il est rare, le plus souvent l'impact est latéro-postérieur ou latéro-antérieur : il s'introduit alors une composante de rotation importante à connaître pour expliquer les lésions observées, elle est alors associée à une inflexion latérale. M. RAMET et D. CESARI (77) retrouvent la rotation dans tous leurs cas, pour notre

part, elle existe dans 7 cas sur 8.

En choc latéral, le tronc est arrêté contre la paroi avant la tête dont le parcours d'arrêt est augmenté de la distance cou-épaule : la 2e collision qu'elle subit est donc plus grave. Les passagers du côté opposé au choc sont moins souvent traumatisés que ceux qui se trouvent du côté du choc, ces derniers subissant la contrainte d'écrasement que leur imposent les parois du véhicule et les autres passagers dans un second temps en contre-coup.

L'éjection

C'est une circonstance accidentologique difficilement accessible en biomécanique ; cependant, sur les enregistrements cinématographiques de simulation d'accidents, il apparaît que l'éjection se fait dans la plupart des cas par les portières : au début du choc, celles-ci s'ouvrent par déformation élastique des structures (associée à la poussée des mannequins projetés dans l'habitacle) puis elles se referment en se bloquant ; donc une portière trouvée coincée sur un véhicule accidenté n'exclut pas la possibilité d'éjection et ne permet pas d'affirmer que celle-ci s'est effectuée par les fenêtres latérales. Par contre, elle peut se faire par le pare-brise (sur 512 blessés, 2 éjections par le pare-brise contre 74 par les portières) (6) et par le toit ouvrant en toile (3 cas).

Le choc précédant l'éjection est le plus souvent frontal (58 % pour J. BANDET, D. CESARI et M. RAMET (6) et 80 % pour le Road Research Laboratory anglais (56). Son importance, dans le mécanisme lésionnel, par rapport à l'éjection, est évidemment difficile à déterminer.

Les passagers avant droits sont plus exposés que le conducteur dont la projection est entravée par le volant et la colonne de direction (17).

Lors de l'éjection, le passager peut être blessé à différentes étapes : passage à travers les parois du véhicule, choc sur le sol, puis contre un obstacle, un autre véhicule ou écrasement sous son propre véhicule (non exceptionnel, les lésions

sont, bien sûr, très graves). La cinématique du corps lors de l'éjection est aléatoire et dépend de paramètres totalement incontrôlables. Si le corps éjecté touche le sol tête première, il télescope le segment céphalique et réalise des angulations extrêmes au niveau du rachis cervical (77), les lésions dorsales peuvent s'expliquer par choc direct contre le sol ou un obstacle de la même façon que pour les motocyclistes chez qui ces atteintes sont prédominantes.

Il faut insister sur la gravité de l'éjection à l'encontre de la croyance populaire qui lui attribue des propriétés salvatrices.

J. BANDET, D. CESARI, M. RAMET, sur 88 éjectés, dénombrent 13 tués (15 %), sur 384 blessés non éjectés, 30 tués (7,3 %) donc multiplication du risque létal par deux lors de l'éjection. Le nombre de blessés graves est plus élevé (25 %) que lorsque les passagers restent dans l'habitacle (17 %), le nombre de personnes indemnes est plus élevé dans le second cas (27 % contre 10 %). L'éjection détermine les lésions suivantes : traumatisme crânien (80 %), fracture du crâne (7 %), fracture et contusions graves des membres supérieurs (26 %), plaies diverses étendues (77 %) : ces lésions se rapprochent de celles que l'on rencontre chez les motocyclistes.

De nombreux autres auteurs confirment cette notion de gravité, notamment M.M. MILLER (56).

Le retournement

Par définition, on admet le retournement à partir d'un quart de tour.

Il se caractérise par une lente dissipation de l'énergie cinétique (59), sa complexité rend difficile une étude cinétique de synthèse étant donné la variété des chocs initiaux, du sens du retournement (sagittal, frontal et/ou rotatoire).

Le véhicule

Quelques rares études ont montré qu'il faut une vitesse suffisante pour engendrer le retournement : J.W. GARRETT (30) a établi qu'il est rare au-dessous de 40 miles (64.4 km/h), aux Etats-Unis. Plus la vitesse est grande lors de l'impact, plus nombreux seront les tonneaux et donc les décélérations par contact sur le sol ; mais, alors que MOFFATT (59) retrouve un accroissement du nombre de lésions en fonction du nombre des tonneaux, d'autres auteurs ont établi que celle-ci n'influence pas la gravité du traumatisme (17).

Il est rare que le retournement existe sans choc initial et qu'il s'effectue sur la chaussée (3 % sur 200 cas pour HUELKE (41)^{*}). Bien sûr, le choc initial ne doit pas être le facteur lésionnel majeur pour classer le dossier dans la catégorie retournement. Le véhicule peut subir d'autres impacts au cours ou à la fin de ses révolutions (contre un obstacle fixe ou un autre véhicule), ce sont des facteurs aggravants (73) (8) : A. PATEL et C. GOT (67) observent, lors de retournements survenus sur autoroute, l'existence d'un choc dans 54 % des cas et dans 20 % des cas, l'impact le plus violent a été précédé d'un ou de plusieurs d'ordre mineur. D. CESARI et M. RAMET (17) sur 111 retournements dénombrent un choc dans 79,3 % des cas, deux chocs dans 19,3 %.

Lors de l'enregistrement cinématographique de tonneaux, il est apparu que, quand le toit touche le sol en premier, c'est le côté opposé au sens du tonneau qui est d'abord atteint dans la révolution suivante ; d'autre part, la collision du pavillon peut ne pas se produire et le véhicule peut toucher le sol primitivement par les flancs ou les roues. Le mouvement s'effectue selon deux composantes dans tous les cas : une translation qui s'atténue dans le temps, une rotation qui peut ne pas diminuer en durée si les conditions du rebond sont favorables (pente, amortisseurs ...).

Les passagers

A l'intérieur de cet habitacle, les occupants entrent en contact avec les parois et subissent des décélérations imposées par les impacts successifs contre le sol, leur position lors des différents temps étant fonction :

- de l'accélération de la gravité les poussant vers le sol
- de la vitesse et de la direction du mouvement
- des forces d'interaction de leur propre corps à l'intérieur du véhicule.

Aussi, lors du contact toit-sol, le passager n'est pas obligatoirement assis, sa position a pu déjà varier ; cependant, dans le cas de lésions vertébrales hautes, on peut penser que le choc se fait sur la tête, le corps possédant sa propre énergie cinétique applique une charge excessive, favorisant l'écrasement des vertèbres au point de contrainte maximale. A ces forces compressives s'associent le plus souvent des directions de forces rotatoires, d'inflexion latérale, de flexion ou d'extension. Il semble ne pas exister de relation entre l'enfoncement du toit et la gravité de l'atteinte des passagers, sauf quand il est totalement collabé (41) (59), car c'est l'occupant qui rencontre le toit lors de la phase deux et non le pavillon qui se rapproche de lui.

Lors du retournement, théoriquement les occupants des sièges antérieurs et postérieurs sont également exposés, l'impact initial pouvant se réaliser dans n'importe quelle direction, de même que le sens de rotation ; mais, en pratique, les passagers avant sont plus souvent atteints. Deux raisons à cela :

- la collision initiale est souvent antérieure et imprime une direction de choc les exposant plus
- les passagers avant sont fréquemment éjectés (8)

Pour notre part :

- passagers avant
 - . non éjectés : 15
 - . éjectés : 21
- passagers arrière
 - . non éjectés : 6
 - . éjectés : 6

(Soulignons que ne connaissant pas le type exact des automobiles, il n'est pas possible de déterminer le pourcentage de deux portes dans lesquelles l'éjection est exceptionnelle pour les passagers arrière).

Le retournement n'est en général pas un choc plus grave que les autres, du moins lorsqu'il n'existe pas d'éjection associée. HUELKE montre que sur 226 accidents avec tonneaux, la moitié des occupants sortent indemnes ; il faut attribuer cette bénignité à la lente dissipation de l'énergie cinétique.

Cependant, l'éjection est un facteur aggravant primordial (41★). Elle s'effectue comme nous l'avons déjà vu par les portières.

Pour A. PATEL et C. GOT (67) : sur 145 retournements, 25,5 % d'éjectés dont la moitié meurt avant le transport vers le centre de secours.

Pour HUELKE (41) : sur 226 accidents par tonneaux, 30 % des occupants non ceinturés sont éjectés, avec 50 % de décès.

Pour D. CESARI et M. RAMET (17) : sur 111 retournements, 35 % des occupants sont éjectés, la létalité est de 38 %.

Nous voyons ainsi que la ceinture de sécurité est un facteur essentiel de protection, empêchant l'expulsion (A. PATEL et C. GOT : 14 passagers ceinturés, pas une seule éjection), la collision des passagers entre eux et créant une décélération plus lente et donc une diminution de la sévérité de la "deuxième collision" (cf supra).

Cependant, la ceinture de sécurité mérite des perfectionnements car le vertex étant très proche du pavillon, il n'est pas protégé par les contentions actuelles et ce d'autant plus que le toit s'affaisse.

Autres facteurs aggravants

A la cinématique propre du passager, il faut associer la présence d'autres occupants ou d'objets hétéroclites dans le véhicule qui, par leur inertie, peuvent augmenter la gravité des lésions en multipliant les points d'impact et l'agressivité des structures (94).

ÉTUDE ACCIDENTOLOGIQUE DE NOS DOSSIERS

En fonction des données biomécaniques et accidentologiques exposées au cours des différents chapitres, nous allons essayer de leur rattacher les caractéristiques de nos dossiers.

LE RETOURNEMENT

Il est fréquemment retrouvé dans notre travail (46 %) centré sur les lésions de l'axe vertébro-médullaire alors que les diverses statistiques en trouvent un nombre bien inférieur (par exemple la firme VOLVO sur 28 376 accidents, en dénombre seulement 4,9 %) (12), en moyenne les auteurs s'accordent aux environs de 10 % (60).

Jusqu'à présent, il n'a pu être réalisé d'étude cinétique scientifique portant sur le retournement car il est assujéti à un trop grand nombre de facteurs (17) ; dans notre travail, nous tentons une approche de la typologie lésionnelle, du moins au niveau du rachis.

Les lésions observées (se reporter aux tableaux déjà décrits)

Il se dégage une prépondérance de l'atteinte cervicale (32 lésions, 33 au niveau du rachis sous cervical) surtout lorsqu'elle est associée à une lésion d'un autre étage (catégorie C2).

A l'étage cervical, C1 est atteint une fois

C2 " " six fois

C3 " " deux fois

C4, C5, C6, C7, D1 : cinq à sept fois

donc les lésions sont réparties assez également hormis en C1 et C3. La vertèbre cervicale est atteinte dans des proportions identiques au niveau du corps de l'arc postérieur ou dans son intégralité.

Le niveau dorsal bas et lombaire est lui aussi très représenté, c'est une zone charnière ; ici l'atteinte est surtout globale.

La gravité des lésions neurologiques est grande puisque sur 37 lésions neurologiques 28 sont et restent graves, 9 seulement montrent une récupération utilisable.

Par contre, si on considère les lésions associées, le retournement n'est pas un grand pourvoyeur de polytraumatisme, la dissipation de l'énergie se produit surtout aux dépens de l'axe céphalo-vertébral.

Le questionnaire

Le retournement s'effectue :

- . dans 21 cas après un choc initial ; la collision contre un véhicule de tourisme a été minime et le tonneau secondaire à l'échappement
- . dans 11 cas après une chute dans un ravin peu profond
- . dans 1 cas, chute de 300 mètres avec tonneaux, terminée par une éjection

Il existe donc une proportion importante de chocs primitifs qui sont, comme nous l'avons vu, un facteur aggravant.

Nous trouvons la plus grande proportion de passagers arrière (12 sur 46) par rapport aux autres types de choc.

La ceinture de sécurité n'est pas souvent portée : seulement dans trois cas alors que dans 23 (dont 12 passagers arrière) l'absence de port est certaine.

L'éjection secondaire : la classification en tonneaux plus éjection et non pas en catégorie éjection tient au déroulement de l'accident. On retient un important pourcentage d'éjections secondaires (26 sur 46), c'est un autre facteur aggravant (67).

La synthèse biomécanique

L'atteinte cervicale

Les vertèbres cervicales sont fragiles, ce qui explique la fréquence de telles lésions dans ce type d'accident ; on retrouve cette notion dans un travail de M. RAMET et D. CESARI : sur 100 lésions cervicales, 34 se réalisent en retournement (75). Mais nous rappelons que les dossiers étudiés dans ce travail concernent des blessés graves (fréquence des tétraplégies).

Nous rencontrons tous les types de fracture et de luxation possibles, ce qui implique que tous les mécanismes lésionnels sont représentés.

Il est intéressant d'isoler les fractures de l'axis :

- atteinte globale dans un cas (décès)
- du corps : 4 fois dont 3 fractures de l'odontoïde
- de l'arc postérieur : 1 fois

Dans ces cas, en dehors de la fracture découverte lors de l'autopsie et associée à un grand fracas des vertèbres cervicales, on remarque la prépondérance de lésions du corps, notamment de l'odontoïde, qui se réalisent, le plus souvent, en extension ou en flexion.

Le rachis dorsolombaire

19 lésions sur 65 entre les niveaux dorsal bas et charnière, elles sont surtout globales.

Le mécanisme, à cet étage, est surtout à type d'hyperflexion, mais aussi par télescopage et cisaillement. Nous retrouvons les trois directions de force de WATSON-JONES couplées à la rotation de NICOLL ; cependant lors des retournements, les forces s'exerçant à ce niveau, sont surtout de direction postérieure et postérosupérieure.

Lorsque plusieurs vertèbres sont lésées, elles se situent au même étage sauf dans deux cas totalement identiques où existent une lésion de l'odontoïde et une fracture tassement antérieur cunéiforme de D6 sans recul du mur postérieur.

Le mécanisme semble être une hyperflexion du rachis avec deux points de fracture.

Les lésions associées

Le retournement est, comme nous l'avons vu, un faible pourvoyeur de lésions associées. Il faut cependant remarquer le nombre de traumatismes crâniens par choc contre le toit, les divers obstacles (notamment les autres passagers) lors des tonneaux et lors de l'éjection; ils s'associent le plus souvent à des lésions cervicales.

Le retournement n'expose que rarement la face par choc contre le pare-brise (il n'est brisé que dans 50 % des cas par déformation du pavillon, dans une étude de PATEL et GOT (67).

Les lésions costales sont fréquentes mais n'existent pas chez les trois passagers ceinturés.

L'éjection après le retournement

C'est un facteur aggravant, nous l'avons vu, et le seul cas mortel de notre étude associe une éjection aux tonneaux.

En étudiant les dossiers, nous obtenons la répartition suivante :

Retournement (20 cas)	7	12	1	1	3	2	1	1	1		= 29
Retournement + éjection (26 cas)	3	10	5	3	2	6	4	1		2	= 36
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	C		DH		DB		CH		LS		Somme

Rappelons que le sous-groupe 1 correspond à la lésion d'une vertèbre et 2 à une lésion multiple.

Les atteintes sont réparties de façon comparable dans les deux catégories, il faut néanmoins remarquer que les dommages sous-cervicaux sont plus nombreux (25) lors des "retournements + éjection" que lors des retournements purs (10), alors que la proportion s'inverse à l'étage cervical (13 et 19).

Cette différence au niveau sous cervical est surtout marquée en "dorsal haut" et "charnière" : en dehors de l'hyperflexion, on peut évoquer le choc direct.

L'éjection est-elle un pourvoyeur de polytraumatisme ?

Lors du retournement	Ejection	Pas d'éjection
monotraumatisme	12	16
polytraumatisme (1 lésion au moins en plus de celle de l'axe vertébro-médullaire)	14	4

(dans le cadre du monotraumatisme, nous avons inclus les traumatismes crâniens avec ou sans perte de connaissance puisqu'ils sont bénins dans notre série).

Nous voyons que le polytraumatisme s'associe à l'éjection. Les 14 dossiers (réunissant 20 lésions non vertébrales) présentent une répartition particulière des niveaux d'atteinte vertébrale : 1 C, 5 DH, 6 DB, 2 LS ; les lésions associées sont des lésions costales dans 11 cas sur 20 lésions associées, dans les 9 autres cas 2 fois lésion du crâne, du bassin, de l'épaule, des viscères intra-abdominaux et une fois lésion du membre supérieur.

Ainsi, ces polytraumatismes produits en retournement + éjection correspondent à des lésions osseuses dorsales auxquelles s'ajoutent le plus souvent des fractures de côtes, association banale.

L'éjection lors des tonneaux n'est donc pas un facteur aggravant mais un pourvoyeur de lésions vertébrales dorsales. Ceci, dans notre travail, car tous les accidentologues s'accordent pour la considérer comme un facteur de risque supplémentaire.

Port de la ceinture de sécurité (3 cas)

Dans trois cas, il n'y a pas d'éjection.

- les deux premiers présentent une lésion cervicale de type flexion, le choc initial s'est réalisé contre un talus
- le troisième cas présente une lésion cervicale en flexion (fracture comminutive du corps de C2) sans lésion neurologique, choc initial contre un parapet de pont

Ces trois cas sont des monotraumatismes malgré des énergies lésionnelles très importantes ; si nous ne pouvons tirer aucune conclusion sur un si petit nombre de cas, il nous faut cependant remarquer que le port de la ceinture de sécurité n'est pas couplé à l'éjection.

L'incidence de la place occupée par le blessé

Ce type de choc rassemble le plus grand nombre de passagers arrière blessés, nous avons expliqué pourquoi. En outre, le seul choc statistiquement représentatif et comparable est le choc frontal dans lequel les passagers avant sont plus exposés.

LE CHOC FRONTAL

32 cas : il arrive en seconde position de fréquence, et 32 % sont statistiquement représentatifs.

Nous retrouvons la fréquence établie par la firme VOLVO (35,7 %). Le choc frontal a été déjà longuement étudié par des spécialistes de sécurité routière, mais tous les aspects de la prévention des lésions vertébro-médullaires ne sont pas encore acquis même si de grands progrès sont apparus (ceinture de sécurité et appui-tête notamment).

Les lésions observées

Nous trouvons 18 lésions vertébrales cervicales et 25 sous-cervicales.

La plupart des lésions cervicales portent sur plusieurs vertèbres (catégorie C2) pour le même blessé, elles sont surtout corporéales et globales.

Il existe de nombreuses atteintes de la charnière dorso-lombaire : 10 sur 43, soit 23 %.

Les troubles neurologiques sont graves, cependant le rapport nombre de "motricité utilisable" sur nombre de "motricité inutilisable" est plus élevé que dans les accidents en retournement (0,5 et 0,38).

Dans trois cas nous retrouvons des lésions nerveuses sans dommage osseux.

Les lésions associées se caractérisent par la fréquence des fractures des os du crâne, des lésions des membres inférieurs et des côtes associées à des dommages osseux cervicaux ; cinq lésions abdominales sur sept surviennent lors de ce type de choc.

Le questionnaire

Sur les 32 passagers blessés, deux seulement occupaient une place arrière et 25 ne portaient pas la ceinture de sécurité.

La collision s'effectue dans 20 cas contre des obstacles fixes (arbres ou murs), quelque soit le lieu d'impact, l'énergie cinétique est dissipée en un temps très court.

Trois fois la collision s'effectue en ville. F. ARCADIO, J. CATON et A. MOULAY ont montré la relative bénignité des accidents en circulation urbaine (3).

Dans l'accident survenu sur autoroute, le conducteur d'un camion quitte la chaussée avant de percuter la glissière de sécurité : cet exemple nous rappelle que le choc frontal se définit dans les trois segments antérieurs du cadran horaire et qu'il est rarement orthogonal mais le plus souvent oblique (deux chocs frontaux sur trois sont décalés) (67).

Détaillons les trois dossiers dans lesquels existe un retournement secondaire.

- Le conducteur d'un camion, après un choc contre une voiture, puis un angle de mur, subit des retournements multiples. Il ne présente pas de lésion vertébrale mais un syndrome neurologique type SCHNEIDER II cervical et une fracture de la malléole tibiale

gauche.

- Une voiture avec quatre occupants percute un rocher puis subit un retournement. Le passager avant droit, non ceinturé, est atteint d'une fracture de D10 et D11 avec paraplégie complète D11.

- Une camionnette entre en collision avec un mur et se retourne, le passager arrière centre, non ceinturé, présente une fracture D5 compliquée de paraplégie complète D7 et des fractures de côtes.

Lorsqu'une éjection s'associe au choc frontal

- les accidents concernent 4 véhicules légers, une camionnette, un camion
- 4 passagers avant droits et deux conducteurs non ceinturés
- le choc se fait cinq fois contre un obstacle fixe, une fois contre un véhicule léger
- l'atteinte osseuse est dans : 1 cas C (C1 à D1)
3 cas DH (D2 à D6)
1 cas Ch (D12 + L1)
1 cas LS (L2 à S5)

Deux fois le retournement puis l'éjection succèdent au choc frontal.

- un conducteur de véhicule léger, non ceinturé, subit un impact contre un mur, fracture de C1 et de L1 avec lésions associées
- un véhicule léger percute un pilone, le passager avant droit, sans ceinture, présente une fracture de D3

Synthèse biomécanique

Les lésions cervicales

M. RAMET et D. CESARI (77), sur 12 lésions du rachis, dénombrent 11 atteintes cervicales. Le mécanisme de survenue est une hyperflexion brutale souvent associée à une rotation. Il est en relation avec l'inertie que possède le segment céphalique non retenu, alors que le rachis sous cervical l'est par la ceinture ou le choc du bassin contre le volant, le tableau de bord, les sièges

avant ; elle peut aussi être due à la projection du passager arrière ou d'objets (qui peuvent aussi déterminer un choc direct).

Etudions de façon ponctuelle ces lésions qui concernent des passagers avant

- lors des 4 décès, nous observons 2 fractures de C6, une fracture de C1, C2, C5, C7, D1
- lors du port de la ceinture de sécurité, dans deux cas, deux luxations pures C6/C7 et C3/C4
- lorsqu'il est incertain une luxation C7/D1
- et quand le sujet ne porte pas de moyen de contention (4 fois) on note une fracture de C2, C4, C7, deux fractures de C5, C6

Nous voyons que le rachis cervical inférieur est particulièrement exposé. Soulignons cependant que les blessures cervicales hautes associées à des lésions médullaires sont le plus souvent létales.

Lors des décès, nous retrouvons les fractures de la base du crâne associées à des lésions cervicales inférieures, leur mécanisme, déjà exposé, est une hyperextension ou un tassement dirigé dans l'axe du rachis (55).

La ceinture de sécurité est une protection efficace, divisant par 9 le risque de blessure grave ou mortelle de la tête pour les passagers avant en choc frontal (67) ; pour notre part, la contention par ceinture s'associe à deux luxations complètes avec syndrome neurologique de type SCHNEIDER central. Nous retrouvons ici la pathogénie évoquée par FISCHER, CARRET et MILLAN (26) : violent traumatisme en flexion auquel peut s'associer une extension créant le mécanisme du "coup de fouet" (39). Dans ce cas, la phase d'hyperflexion reste primitive, elle est arrêtée par la pression du menton sur le sternum, point d'appui à partir duquel s'effectue l'étirement vertébral (luxation) et médullaire. La phase secondaire d'extension garde toute sa gravité et peut être amplifiée par le choc en retour dû à la ceinture ; mais elle peut aussi être due au choc du crâne contre le volant. En effet, les systèmes actuels de contention ne permettent pas d'éviter ce choc lors de collisions extrêmement violentes : ils laissent, une trop grande liberté au tronc. Ceci est très bien démontré lors des simulations effectuées

par l'O.N.S.E.R. (il n'est cependant pas possible de dire à quel niveau du rachis cervical cette extension s'effectue).

Le port de la ceinture peut être rendu responsable de lésions du rachis cervical supérieur par étirement longitudinal avec strangulation (le passager glisse vers l'avant de son siège, sa ceinture étant peu serrée et mal adaptée à sa morphologie).

Les lésions dorsales

Elles concernent six conducteurs, quatre passagers avant droit, deux passagers arrière. Aucun ne portait la ceinture de sécurité.

Elles sont souvent globales, produites par un mouvement de torsion et de flexion : le choc est fréquemment décalé et comporte une composante rotatoire amplifiée chez le conducteur qui cherche à éviter la collision en tournant son volant (rotation du tronc).

Les deux passagers arrière blessés présentaient des fractures luxations, ils n'ont pas été éjectés ; le déroulement de l'accident n'est pas fondamentalement différent à ces places par rapport aux places avant (67). Les occupants de la banquette arrière doivent être arrimés pour assurer leur propre protection et pour éviter leur projection contre le siège antérieur créant des lésions dorsales aux passagers avant (depuis septembre 1978, les constructeurs sont tenus à l'installation de ceintures de sécurité aux places arrière).

Les lésions de la charnière dorsolombaire

Si, en choc frontal, la fracture de la région dorsale est classique, celle de la charnière l'est moins, nous en trouvons cependant 23 % dans notre étude (ce niveau vertébral est fréquemment lésé lors du port de la ceinture américaine à un seul brin sous-ombilical).

Etudions-les plus précisément :

- elles se rencontrent dans 10 dossiers
- 3 passagers ne portaient pas la ceinture de sécurité, un conducteur polytraumatisé présentait un grand fracas osseux de niveau cervical + dorsal bas + de la charnière (tétraplégie), deux pas-

sagers avant droit définitivement paraplégiques étaient porteurs l'un d'une fracture de D12 avec tassement cunéiforme antérieur et recul du mur postérieur par luxation liée à la fracture des apophyses articulaires de D12 et L1, l'autre d'une fracture dislocation de D12 avec translation latérale.

- deux passagers avant droit portaient la ceinture de sécurité et n'ont été blessés qu'au niveau vertébral avec, dans un cas, une luxation complète L1/L2, dans l'autre cas une fracture luxation de L1 avec tassement antérieur et rupture des articulaires inférieures de D12 et supérieures de L1
- dans un cas, il n'a pas été possible de préciser si le passager avant droit était maintenu, il présentait une fracture globale de L1 et de D12 au niveau de l'arc postérieur, la paraplégie dont il est atteint évoluant vers un syndrome de SCHNEIDER type 1.

Ces lésions évoquent un mécanisme identique à celui qui s'exprime au niveau dorsal à type de flexion rotation alors que le bassin est retenu, soit par la ceinture de sécurité, soit par le choc des membres inférieurs contre le tableau de bord ou le volant. Ces lésions basses se retrouvent dans deux cas de contention ; ils nous permettent de préciser un des dangers auxquels exposent les ceintures de sécurité actuelles : en choc frontal, seule l'épaule externe, par rapport à l'axe du véhicule, est maintenue, il se crée une rotation du tronc par enroulement de l'épaule interne, qui s'effectue lors des grandes décélérations (un choc contre un camion qui coupe la route et une autre contre deux arbres que la collision abat !) au niveau du rachis dorsolombaire, et notamment sur les vertèbres D12 et L1.

En effet, une étude de GREGERSEN et LUCAS (43) (31) (27) établit que la rotation entre vertèbres voisines s'annule presque dans le segment lombaire alors qu'au niveau dorsal bas elle est plus ample (WHITE et PANJABI (109) confirment que l'articulation de plus grande raideur rotatoire est D12 L1). Ainsi, les dernières vertèbres dorsales se heurtent à la résistance du rachis lombaire et ces torsions violentes lèsent le segment de transition D12 L1.

Les lésions associées

Alors qu'en retournement elles sont rares, en choc frontal leur fréquence augmente à cause de la dissipation brutale de l'énergie cinétique. Elles sont souvent associées à une atteinte cervicale : ce n'est qu'une constatation sans conséquence biomécanique.

Seuls les traumatismes crâniens sont moins fréquents lors des collisions antérieures car le nombre de passagers éjectés est moindre.

Les lésions de la face, minimales ou graves, sont souvent retrouvées, le visage frappant le pare-brise, le volant ou le tableau de bord.

On trouve aussi de nombreuses fractures des membres inférieurs conjuguant des mécanismes directs et indirects et s'associant à tous les types lésionnels vertébraux : les extrémités inférieures sont très exposées d'autant plus que les sujets ne portent pas de ceinture ... sauf dans un cas où l'habitacle a subi une déformation suffisamment importante pour luxer un genou par choc direct chez un passager ceinturé.

L'éjection

Elle se fait exceptionnellement par le pare-brise car les passagers sont arrêtés par le volant ou le tableau de bord. Lorsque le choc est orthogonal, il n'existe pratiquement jamais d'éjection. Elle se rencontre par contre lorsqu'ils sont décalés. Les portières s'ouvrent et la force rotatoire projette les occupants hors du véhicule.

Dans tous les cas d'éjection, les passagers ne portent pas de ceinture de sécurité. Deux fois l'éjection est secondaire à des tonneaux, dans 8 cas, elle est secondaire au choc frontal.

Notre étude ne permet pas de dégager une typologie lésionnelle dans ce cas, mais nous pouvons citer un travail portant sur 235 chocs frontaux analysés à l'Hôpital de GARCHES (67) :

- 92,1 % de non éjectés, dont 17 % de blessés graves et 4,4 % de décès
- 7,9 % d'éjectés dont 29,7 % de blessés graves et 16,2 % de décès

Il se dégage donc une augmentation de la gravité lors de l'éjection.

Les décès

C'est lors des chocs frontaux que notre étude présente le plus grand nombre de décès, notamment par lésion crânienne.

LES AUTRES TYPES DE CHOC

Ils concernent 21 dossiers répartis en 6 éjections, 8 chocs arrière, 6 chocs latéraux droits, un choc latéral gauche.

Leur étude ne pourra être que ponctuelle, leur petit nombre ne permettant pas de dégager des conclusions statistiquement représentatives.

L'éjection

Les lésions observées

Sept lésions vertébrales dans cinq dossiers :

- trois cervicales à type de fracture de C5 avec syndrome de SCHNEIDER I, fracture de C7 avec tétraplégie complète, fracture de D1 accompagnée d'une paraplégie complète
- quatre sous cervicales : fracture de L1 + L2 avec syndrome de BROWN-SEQUARD dans un cas et fracture de D12 + L1 dans l'autre.

Le décès que l'on observe ne peut être lié qu'à la présence de sang dans le canal rachidien cervical.

Les lésions neurologiques ne présentent aucune particularité. Par contre, les lésions associées sont remarquables par leur absence. On observe seulement une fracture ouverte de l'extrémité inférieure du fémur chez un conducteur écrasé sous son véhicule.

L'accidentologie

Un seul passager arrière central dans un accident où sur trois occupants du siège arrière éjectés, deux se sont relevés indemnes. La troisième est morte.

La collision se fait deux fois par chute dans un fossé : dans le premier cas, le véhicule dérape dans un virage, tombe dans un pré 50 cm en contrebas de la chaussée, l'impact est antérieur droit, le conducteur est blessé lors de l'éjection. Dans le second cas, après dérapage, chute de deux mètres (impact antérieur), le passager avant droit éjecté est écrasé par le véhicule après retournement. Dans quatre cas, le choc initial s'effectue contre un obstacle fixe.

Un choc antérieur droit contre un pylone, le passager avant droit est éjecté par le pare-brise et est relevé à 6 m du lieu d'impact.

Un véhicule dérape puis percute une rampe de pont, dans un autre cas c'est une borne à l'entrée d'un pont, le dernier choc est postérieur droit par un autre véhicule.

Aucune des six victimes n'était maintenue par une ceinture de sécurité.

Synthèse biomécanique

Dans trois cas, il est difficile de dégager une certitude sur le mécanisme lésionnel : faut-il incriminer le choc initial (même s'il nous a semblé mineur par rapport à l'éjection) dans le déterminisme des atteintes ? Aussi, nous contenterons-nous de remarquer l'absence de lésions associées et le décès par traumatisme cervical sans séquelle anatomique lié vraisemblablement à l'application de forces de contact par flexion après chute sur le vertex.

Rappelons que les lésions dorsales sont souvent dues à un contact violent contre la chaussée ou contre un obstacle.

Le port de la ceinture de sécurité aurait certainement permis d'éviter ces dramatiques lésions... sauf dans un cas : il concerne une passagère avant droite éjectée par le pare-brise (fait exceptionnel) alors que le véhicule subissait une déformation considérable de l'habitacle détruisant l'espace de survie. L'éjection a été salvatrice et a déterminé une tétraplégie complète.

Dans un cas, la victime a été écrasée par son véhicule. Les accidentologues insistent sur la fréquence de ce mécanisme et nous rappellent que le meilleur moyen de protection contre l'éjection est la ceinture de sécurité.

Le choc arrière

Les dossiers

Nous allons détailler les huit dossiers concernant des véhicules légers.

Un choc postérieur droit par un camion, le conducteur, non ceinturé, présente une lésion cervicale vertébro-médullaire. Il est éjecté et le véhicule se retourne sur lui. Une photographie de la voiture décapotable montre clairement que l'aplatissement était tel qu'il n'aurait pas permis la survie d'un passager ceinturé.

Un conducteur, chez qui le port de la ceinture n'a pu être précisé, percute un trottoir. Le choc détermine un tête-à-queue puis un impact postérieur droit contre un mur : fracture cervicale et dorsale basse (fracture corporelle antérieure plus fracture des apophyses articulaires supérieures de D10).

Un choc postérieur orthogonal par un camion, le véhicule se déforme considérablement et un passager arrière meurt dans l'accident. Le conducteur présente une luxation cervicale (doute sur le port de la ceinture).

Une fracture de l'arc postérieur de C2 avec tétraplégie C7 chez le conducteur est le fait d'un impact postérieur orthogonal par un autre véhicule léger ; il porte sa ceinture de sécurité mais le siège n'est pas muni d'appui-tête.

Choc arrière latéralisé contre un talus après dérapage dans un virage, le conducteur, non maintenu, est atteint d'une paraplégie D5 sans lésion osseuse apparente.

Une éjection après tonneaux complète une collision postérieure par une automobile. Le passager arrière gauche, non maintenu, est polytraumatisé : fracture de D5 à type de tassement corporéal antérieur et rupture des articulaires supérieures plus fractures de côtes à gauche plus fracture de la ceinture scapulaire du même côté.

Une passagère arrière droite, ceinturée, présente une fracture comminutive du corps et de la lame gauche de D3, un fracas de clavicule droite et un hématome signant la contention par le brin oblique. Le véhicule est percuté très violemment sur son angle postérieur droit par une automobile et effectue secondairement des tonneaux.

Le dernier dossier concerne une passagère avant droite, impact postérieur droit, sur autoroute, par une automobile (énergie cinétique élevée) éjection secondaire. Elle est atteinte d'une luxation D11/D12 par fracture des articulaires, le mur postérieur a reculé de 2 cm. On note aussi des fractures de côtes à droite, une disjonction pubienne et sacro-iliaque, une fracture d'omoplate droite, un traumatisme crânien (coma de 1 mois).

Synthèse accidentologique

Ces dossiers nous apprennent que le choc est rarement orthogonal. Le plus souvent décalé (4 fois à droite), il possède une composante rotatoire. Les lésions neurologiques sont graves : sept fois sur huit elles appartiennent à la classe C de FRANKEL (motricité "inutilisable").

Le rachis cervical (39) est soumis à une hyperextension qui détermine par ordre de gravité croissante :

- la rupture du surtout fibreux prévertébral
- l'arrachement du coin antéro-inférieur de la vertèbre susjacente
- la rupture discale
- une atteinte du mur postérieur

Les lésions vasculaires sont souvent importantes : on observe, parfois, une rupture des artères spinales antérieures.

En cas de port de ceinture sans appui-tête, le mécanisme n'est en rien changé : il faut associer les deux pour une protection raisonnable du rachis cervical.

Le rachis dorsolombaire est lui aussi étendu plus ou moins selon la souplesse de l'armature du siège, sa déformation éventuelle ; cette extension est suivie d'une flexion liée à l'élasticité de l'ensemble siège-passager et dotée d'une énergie lésionnelle moindre.

A ce niveau plus qu'à l'étage cervical, se marque la fréquence de la direction de force rotatoire transversale et cisailante. On retrouve les trois directions de WATSON-JONES complétées par l'élément rotatoire de NICOLL.

Un autre facteur important est l'état de la musculature. Particulièrement dans ce type de choc, elle est relâchée et permet aux mouvements du rachis des amplitudes plus importantes.

En choc arrière, une énergie cinétique minime suffit parfois à déterminer de graves lésions vertébro-médullaires cervicales.

Que nous apprend le 7e dossier ?

La passagère arrière droite, ceinturée, a été victime d'un accident très violent puisque le véhicule percuteur a freiné sur 60 mètres avant de déformer considérablement l'automobile arrêtée à un feu rouge et de la retourner. Comment protéger les passagers dans de telles collisions ? D'autant plus que la fracture est en D3 donc à un niveau élevé qui échappe à la protection d'une ceinture (elle permet, nous l'avons vu, l'enroulement autour de la sangle oblique, de la moitié interne du tronc).

Le dossier 8 réunit à lui seul la presque totalité des lésions associées en choc arrière. Nous rejoignons ici le problème des chocs de très grande violence où l'énergie cinétique ne peut être efficacement absorbée par les matériaux utilisés actuellement et encore moins par les tissus humains.

L'éjection est un facteur d'aggravation lors des collisions postérieures : elle est rare dans ce type d'accident (3 % pour PATEL et GOT) mais grave. Ces auteurs y rencontrent les pourcentages les plus élevés de blessés graves (40 %) et de tués (60 %) parmi tous les blessés éjectés.

Les chocs latéraux

L'étude des dossiers

Un choc latéral droit contre une cuve en béton après un dérapage, concerne un conducteur (21 ans) : luxation complète C6/C7 (il y a un doute quant au port de la ceinture de sécurité).

Un dérapage est suivi d'une chute dans un petit fossé : l'impact est latéral antérieur droit. Le passager arrière droit, âgé de 35 ans et non ceinturé, est atteint d'une luxation C6/C7 (fracture partielle de l'apophyse articulaire supérieure droite de C7), l'évolution neurologique se fait vers un syndrome de BROWN-SEQUARD gauche.

Le choc est là aussi antérieur droit : alors qu'une autre automobile le dépasse, un camion "déboîte". Le choc est répercuté sur la partie antérieure puis sur toute la longueur du véhicule léger mais sans grande violence. Le passager avant droit ceinturé est blessé en D2 (fracture tassement antérieure avec luxation) et au niveau de la première côte droite (du à la sangle).

Un dérapage puis un impact latéral postérieur droit contre un poteau électrique précèdent un tonneau. Le passager arrière droit, non maintenu, présente des fractures de côtes droites et de l'arc postérieur de D10.

Un refus de priorité est à l'origine d'une collision antérieure droite contre un véhicule léger. Elle précède des tonneaux et une éjection : fracture tassement cunéiforme antérieure et de l'apophyse articulaire supérieure droite de D12, chez un passager arrière droit non ceinturé.

Décès d'un passager arrière gauche, non maintenu, par hématome cardiaque associé à une fracture de C5 et un enfoncement facial. Le choc latéral orthogonal gauche s'est produit contre un véhicule léger.

Au cours d'un choc arrière gauche, le conducteur, blessé, coupa la priorité à une automobile. Sous la violence du choc, le véhicule fautif traversa la route (12 m de large) et effectua des tonneaux dans le fossé controlatéral. Le blessé ne portait pas sa ceinture. Les lésions qu'il présentait se résumaient en une fracture des apophyses articulaires supérieures de D4 (paraplégie définitive D4), des fractures de côtes et de la ceinture scapulaire gauches.

Donc, parmi les 7 blessures médullaires, 6 sont graves car classées - à la phase stabilisée - dans le type C de FRANKEL.

Synthèse accidentologique (chocs latéraux droit et gauches confondus)

La rotation, l'inflexion latérale et la flexion créent des tassements corporeaux, des fractures de l'arc postérieur et des luxations.

Deux fois l'occupant blessé est assis du côté opposé au choc. Ce sont les deux premiers cas rapportés où la lésion vertébrale est cervicale, nous en rapprocherons le dommage du 3e dossier : ces luxations sont déterminées (26) par une flexion violente chez un sujet jeune, mais dans ces cas il s'y associe certainement une rotation (les chocs sont secondaires à un dérapage).

La fracture en C5 n'a pas été suffisamment analysée par les médecins légistes pour qu'un mécanisme lésionnel précis soit évoqué. Cependant, en choc latéral pur, on peut supposer que la tête de ce passager arrière gauche a été projetée contre la fenêtre et que l'inflexion latérale est à l'origine des lésions.

La fracture de D2 chez un occupant ceinturé est liée à l'intrusion des flancs du camion au niveau du pavillon de la voiture de petit modèle (Renault 5). Les lésions dans le 5e cas sont dues à une hyperextension. Dans les 6e et 8e cas, on retrouve le rôle primordial de la rotation + flexion avec grande décélération.

Le 8e dossier analysé montre un traumatisme scapulothoracique gauche à rattacher à la violence du choc. Il est certain que la protection des passagers en choc latéral est difficile à assurer étant donné la proximité de l'impact.

LES MESURES DE PROTECTION ET DE PREVENTION ROUTIERE

Ces mesures vont dans le sens d'une sauvegarde de tous les segments corporels, mais l'axe céphalocaudal, particulièrement exposé, est au centre des études des accidentologues. Elles se font dans deux directions : la prévention afin d'éviter la collision, la protection pour diminuer ses conséquences et ce, à trois niveaux : route, voiture et passager.

LA ROUTE

AFIN D'EVITER LES ACCIDENTS

On améliore les tracés pour augmenter la tenue de route mais aussi la visibilité, par exemple en ouvrant l'angle des virages, en les relevant, en dégagant les abords des "points noirs" (arbres, clôtures...).

La signalisation est adaptée pour être mieux comprise (code international), mieux perçue (présignalisation, panneaux lumineux, lignes blanches, répétition des panneaux)

Dans certaines zones (entrée de villes, postes de péage), pour diminuer la vitesse des automobiles, on peut installer des signaux à effet optique (feu clignotant, bandes blanches de largeur décroissante) ou à effet vibratoire (surélèvements de plus en plus rapprochés de la chaussée).

AFIN D'AMORTIR LE CHOC EVENTUEL

Les glissières de protection sont bien sûr au premier plan, leur efficacité est surtout réelle au-devant d'obstacles ponctuels rigides (piles de pont, pylones, arbres) mais aussi pour éviter les traversées de terre-plein central sur autoroute et les chutes en contrebas d'ouvrages d'art.

D'autre part, les poteaux indicateurs, les feux tricolores, les lampadaires peuvent être fragilisés grâce à un matériau plastique.

LE VÉHICULE

AFIN D'EVITER L'ACCIDENT

On peut améliorer les performances en sécurité primaire (la tenue de route et ses multiples facteurs, le freinage, l'éclairage).

Le véhicule doit correspondre à des caractéristiques techniques correctes, mais il faut aussi contrôler périodiquement l'état de celles-ci (éclairage, pneumatiques).

AFIN DE MINIMISER LES CONSEQUENCES DE LA COLLISION

Les mesures de protection sont orientées en fonction du type d'impact.

L'impact frontal

Nous avons vu, dans les rappels d'accidentologie, que le choc est défini par une direction et non par le point de collision sur le véhicule (ainsi un impact latéral peut correspondre à un choc frontal). Ici il nous faut raisonner en fonction du lieu de collision au niveau duquel des mesures de protection seront adaptées.

La partie antérieure des véhicules est , le plus souvent, exposée. Nous avons vu que le facteur essentiel de sauvegarde consiste en une lente décélération du couple passager-automobile (donnant, aux systèmes de sécurité, le temps de fonctionner) : aussi, le constructeur ne doit pas concevoir un "tank" mais un véhicule dans lequel la déformation (qui est une fonction exponentielle de la décélération) soit progressive et concentrée dans la partie antérieure sans intéresser l'habitacle (lui conservant un volume suffisant pour permettre le fonctionnement correct des moyens de protection).

La colonne de direction ne doit ni reculer, ni remonter : elle est munie de cardans. Le volant doit, lui aussi, pouvoir absorber un choc violent en se déformant. Le tableau de bord ne sera pas décoré. De même, les boutons, le levier de vitesse, le système "antivol", la console d'autoradio, ne présenteront aucune saillie contondante : une esthétique austère est ainsi nécessaire à l'amélioration de la protection.

Il faudra apprendre aux passagers à ne pas placer d'objets lourds sur la tablette arrière des voitures et à charger les marchandises le plus près possible de la banquette avant des camionnettes (pour éviter un effet de "bélier").

L'armature du siège sera aussi renforcée pour protéger le rachis dorsolombaire.

Les poids-lourds doivent être munis de barre anti-encastrement à l'avant et à l'arrière, et leurs structures externes rigides doivent être remplacées par d'autres en matériau plastique.

L'impact latéral

La protection des passagers est liée à trois facteurs :

- minimiser la déformation
- amortir le choc intérieur
- diminuer la distance initiale occupant-paroi

En choc latéral il n'existe pas de compromis entre décélération et déformation comme lors d'un impact frontal, ici les parois seront rigidifiées au maximum par des "bas de caisse" montant très haut, des armatures. Le revêtement intérieur sera en matériau déformable non élastique, il aura le même rôle que le matériau tapissant l'intérieur des casques de motocyclistes.

Le problème qui persiste est la protection du système tête-cou : aucun dispositif actuel ne permet d'éviter l'inflexion latérale et la rotation.

L'impact postérieur

Le problème de la déformation se pose ici comme dans la collision frontale. Les règles de chargement sont les mêmes : les marchandises pouvant être catapultées contre les occupants.

Le retournement

Particulièrement fréquent dans notre travail, il n'a pas fait l'objet de nombreuses études accidentologiques. Cependant, plusieurs mesures de protection ont vu le jour : le pavillon a été rigidifié et a été rendu moins contondant par d'adjonction de matières plastiques à l'intérieur de l'habitacle (les matériaux élastiques n'évitent pas le phénomène de rebond), nous retrouvons ici l'exemple du casque de motocycliste ; les montants ont été consolidés.

Cependant, l'industrie automobile, après une phase de recherche esthétique, puis d'amélioration de la sécurité, entre dans celle de l'économie d'énergie et l'abaissement des pavillons, pour une meilleure pénétration dans l'air, diminue la distance tête-toit. Ces nouvelles normes favorisent les formes arrondies qui, lors de retournement, présentent une meilleure résistance à la déformation.

Dans ce type de choc, les masses mobiles à l'intérieur du véhicule, sont dangereuses. Il faut éviter le transport d'objet lourds à l'intérieur de l'habitacle, construire des vide-poches grands et fermés.

L'éjection

Les serrures "antiburst" sont posées systématiquement depuis plusieurs années sur tous les véhicules. Leur fermeture, dans plusieurs plans de l'espace, empêche théoriquement leur ouverture lors du choc. Ceci n'est pas totalement réalisé en pratique, d'autant plus que les portières de nombreux modèles de véhicule s'ouvrent par boutons poussoirs extérieurs, particulièrement lors des retournements, par contact avec le sol, favorisant ainsi l'éjection.

Il semble que le maintien du pare-brise sur le véhicule protège les passagers notamment de l'éjection par cette issue ; dans de but, il sera en verre feuilleté et collé sur les montants.

LA PREVENTION APRES L'ACCIDENT

Des critères précis devraient écarter les véhicules dangereux après une collision (comme cela existe dans d'autres pays) en dehors de toute considération pécunière.

L'OCCUPANT

IL FAUT PREVENIR L'ACCIDENT

Ici, il est important de protéger le conducteur contre lui-même.

L'apprentissage de la conduite doit être sérieusement contrôlé et accompagné d'un apprentissage de la sécurité tant du point de vue accidentologique que sur celui de l'hygiène personnelle : en premier lieu l'alcoolisme.

L'alcool agit de 0,2 à 0,3 g par litre de sang en faussant l'estimation des distances et des vitesses, de 0,3 à 0,5 g/l en ralentissant les réflexes et en troublant la vision, de 0,5 à 0,8 g/l en diminuant l'attention et en créant une sensation d'euphorie et de surestimation des capacités individuelles très dangereuses. Puis

de 0,8 à 1,5 g/l les troubles s'accroissent avec une baisse importante de la vigilance (66). Pour C. GOT, dans 42 à 45 % des accidents mortels un des conducteurs est intempérant (dans la région parisienne). La prise excessive d'alcool est une cause fréquente de l'accident grave du samedi soir chez les jeunes conducteurs sortant du bal ; cette situation a été fréquemment retrouvée à l'étude des dossiers. Elle met en cause une population de 18 à 25 ans, non avertie des problèmes de sécurité et placée dans des conditions euphorisantes, la nuit ; la conjonction de ces facteurs est souvent à l'origine des drames que vivent les blessés médullaires.

D'autres drogues sont responsables d'accidents : ce sont les tranquillisants (et myorelaxants !), les neuroleptiques.

Une surveillance médicale plus sophistiquée semble nécessaire pour corriger les troubles de vision ; d'autre part, peut-on interdire à des personnes âgées la conduite ?

La limitation de vitesse fait partie de ces règles de sécurité. Plus facilement contrôlable à grande échelle que l'intempérance, cette mesure est primordiale puisque les dispositifs assurant la protection sur le véhicule, et à un degré moindre sur la route, ne sont adaptés que dans les limites de vitesse actuellement imposées.

IL FAUT DIMINUER LES CONSEQUENCES DES ACCIDENTS

Lors des chocs frontaux

La ceinture de sécurité

Son efficacité est très grande quelque soit le type de choc, cependant la ceinture de sécurité est avant tout protectrice en choc frontal aussi bien aux places avant qu'aux places arrière. Pour C. TARRIERE "la ceinture fixée en trois points diminue la morbidité et la mortalité des accidents de la route, c'est un point acquis définitivement". Avec A. PATEL et C. GOT, il a réalisé une enquête portant sur 3 000 automobilistes accidentés ; les résultats ont été les suivants :

(pour les passagers avant)

	% de tués chez les ceinturés	% de tués chez les non ceinturés
Choc frontal (58 %)	2.54	6.39
Choc latéral (17 %)	5.80	10.80
Choc arrière (13 %)	1.01	2.19
Retournement (11 %)	1.91	9.48
1 % de type non précisé		

Pour Ch. HERPOEL (39) le nombre de traumatismes cervicaux est peu influencé par le port de la ceinture de sécurité, car si leur taux global est en légère baisse, la typologie lésionnelle présente une aggravation. Une revue de la littérature, dans cette thèse, montre l'utilité de la contention, tout en exposant ses inconvénients.

Nous allons étudier l'influence de la ceinture de sécurité avant d'aborder ses risques. Elle agit à deux niveaux : elle améliore le couplage passager/véhicule et empêche "la seconde collision" contre les structures déformées. La contention doit être ferme (utilisation d'enrouleurs avec adaptation actuellement d'un "réenrouleur" mis en jeu lors des chocs et retendant les sangles) mais elle doit aussi limiter les forces exercées et la pression doit être progressive grâce à un matériau extensible (la ceinture de sécurité devrait être changée après tout choc violent), les lésions thoraciques sont ainsi limitées et le système tête-cou n'est pas brutalement mis en mouvement "de coup de fouet" (flexion puis extension). Le mécanisme est le même pour les passagers avant et arrière.

Ces diverses mesures de bonne utilisation de la ceinture ne sont pas toujours adoptées (il existe des pince-ceintures à enrouleur "permettant de desserrer légèrement la ceinture sans pour autant réduire la sécurité"). La fréquence des traumatismes liés à la contention est grande puisqu'ils surviennent chez un tiers des passagers

ceinturés lors des chocs importants. Ils sont cependant de faible gravité et les lésions graves ne représentent qu'un pourcentage minime (69).

Les risques liés à la décélération

- . mineurs, ce sont des douleurs du rachis cervical (102)
- . graves : lésions vertébrales cervicales (par mécanisme du "coup de fouet" par choc du crâne contre le volant, par étirement longitudinal et rotation), dorsales hautes (par enroulement de l'épaule interne et torsion de l'axe rachidien)
 - : lésions viscérales thoraciques, abdominales et pelviennes

Les risques liés à la pression exercée par la ceinture

- . mineurs à type de contusions cutanées, musculaires, de fractures de clavicule, de côtes sans complication, de douleurs thoraciques persistant quelques jours,
- . graves : ce sont les volets costaux avec lésion pulmonaire, les fractures du sternum, du bassin (avec atteinte pelvienne), les lésions abdominales par mauvais positionnement de la sangle horizontale, l'ischémie cérébrale par strangulation.

Cette liste de risques ne doit pas faire oublier que la ceinture de sécurité est le meilleur moyen de protection du passager mais elle doit s'associer à d'autres dispositifs.

L'appui-tête et le renforcement du siège

Le siège sera enveloppant, moulant les structures anatomiques aussi précisément que possible. Le passager doit faire corps avec la ceinture et le siège : on développera aussi la protection latérale, et pourquoi ne pas imaginer un "siège coquille" enveloppant le rachis et la tête (où l'occupant serait emprisonné par le vide créé entre des billes de matériau synthétique), une suspension au niveau du socle assurant le confort. Il semble cependant improbable que les automobilistes acceptent de ressembler à des momies dans un

sarcophage !

Le choc arrière

L'appui-tête est primordial au niveau des sièges avant et arrière. Son armature doit être robuste et son matériau suffisamment plastique pour ne pas créer un effet rebond de la tête en flexion. Il pourrait être amélioré par des renforcements latéraux puisque les appui-tête actuels protègent peu contre la rotation souvent associée. Mais le choc arrière étant rare, l'installation des appui-tête n'est pas obligatoire actuellement. Les passagers doivent, ici aussi, être ceinturés sur des sièges "baquets" épousant les courbures du rachis.

Le choc latéral

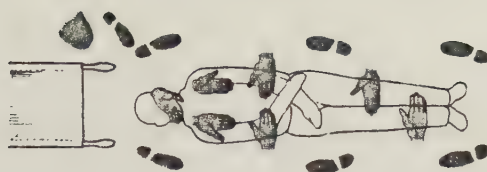
La ceinture de sécurité isole les occupants, empêche leur télescopage mais ne les protège pas du choc direct.

Le retournement

La garde au toit étant actuellement faible, le seul moyen de protection est représenté par une ceinture de sécurité bloquant le passager sur son siège. Comment le réaliser avec les ceintures actuelles dont le réglage en hauteur sur les montants ne peut être adapté selon la morphologie de l'occupant (bien que des réglages complexes soient possibles par positionnement à divers niveaux), la meilleure solution résidant en l'installation d'une ceinture à quatre brins obliques (harnais). La contention actuelle, si elle n'empêche pas le choc contre le pavillon, a cependant l'intérêt d'empêcher l'éjection totale ... même si elle n'évite pas parfois celle d'un membre ... ou de la tête.

LA PROTECTION EXISTE AUSSI APRES L'ACCIDENT

L'amélioration des conditions de relevage et de transport permet d'éviter l'aggravation des lésions. Le ramassage des blessés graves, et notamment au niveau de l'axe vertébro-médullaire doit obéir



— Tout polytraumatisé est, à priori, suspect d'une fracture de la colonne, le ramassage et le transport doit éviter tout mouvement important du rachis, en particulier toute flexion forcée.

Pont néerlandais pour un blessé suspect de fracture de la colonne vertébrale.

Schéma indiquant la position des pieds et des mains des sauveteurs.

Mise sur brancard.



— Utilisation d'un matelas pour la contention et le transport des polytraumatisés, qui peut se transformer très rapidement en une coquille rigide.

(d'après Cara).

à certains principes bien établis (38★) mais non encore généralisés en pratique.

Les services d'aide médicale d'urgence sont le plus rapidement possible près du blessé, un diagnostic global est réalisé à l'intérieur du véhicule si l'occupant n'est pas éjecté. S'il y a une certitude ou une suspicion de lésion vertébrale, avec ou sans atteinte neurologique, un système de contention rachidien est appliqué si possible dans la position où se trouve le blessé (actuellement les matelas à pression négative semblent les plus adaptés). L'évacuation se fait par ambulance et/ou par hélicoptère vers le centre de soins le plus proche apte au diagnostic et à la décision thérapeutique la plus rapide et la mieux adaptée (afin de minimiser les conséquences d'une lésion grave ou d'éviter l'apparition de troubles secondaires).

"L'automobile apparaît à certains un objet mauvais, tyrannique et dangereux, meurtrier et polluant. Il s'agit surtout de la voiture des autres" (68).

La sécurité passe par une prise de conscience individuelle des phénomènes accidentologiques et traumatologiques. La prévention des accidents est une mesure préférable à la protection. A. WERNER écrit "le port de la ceinture de sécurité n'a rien à voir avec la prévention des accidents, qui reste le vrai problème du trafic automobile et routier" (108). Il est certain que la fréquentation des centres de soins pour blessés médullaires dissuade d'adopter une conduite dangereuse.

CONSEQUENCES PRATIQUES POUR L'ORGANISATION D'UNE PROTECTION

L'organisation d'une véritable protection des lésions de l'axe vertébro-médullaire, notamment lors des retournements, passe par :

- une meilleure connaissance des circonstances des accidents
- une amélioration de la conception des mesures de protection
- une amélioration des soins immédiats afin d'éviter l'aggravation des lésions

POUR UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES CIRCONSTANCES

MATÉRIELLES DES ACCIDENTS

La méthodologie propre de notre étude utilisant des informations accidentologiques a posteriori (ayant souvent un caractère subjectif) n'a permis qu'une approche approximative des mécanismes lésionnels. Elle ouvre, cependant, la voie à trois axes de recherche :

- d'une part, une enquête appropriée conduite immédiatement après la survenue de l'accident, par un personnel entraîné, afin de préciser certaines circonstances. L'enquête immédiate ne peut se réaliser qu'à partir des services d'urgence où un enquêteur, spécialement détaché, interrogerait le blessé ou ses proches, puis se rendrait sur les lieux de la collision et analyserait les chocs de façon objective (type du véhicule, importance d'un impact primitif, port ou absence de port de la ceinture de sécurité, existence d'une éjection, recherche des impacts du crâne sur le pavillon ...).

- d'autre part, une analyse des résultats, visant à confirmer la part réelle du retournement dans la génèse des traumatismes vert brom dullaires
- enfin, lors de celui-ci, on cherchera à déterminer le mécanisme exact des lésions.

POUR UNE AMÉLIORATION DES MOYENS DE PROTECTION

L'analyse des résultats permettrait alors de proposer un modèle expérimental. On pourrait :

-  tudier la résistance à la fracture du rachis cervical selon les diverses inflexions et rotations
- rechercher les zones les plus exposées lors du port de la ceinture de sécurité (cervicale, dorsale, charnière dorsolumbaire)
- proposer des mesures de protection plus efficaces répondant à plusieurs questions :
 - . quelle place, par rapport au tronc, doit occuper le montant latéral, peut-il protéger l'occupant lors de chocs latéraux ?
 - . comment éviter le choc du crâne contre le volant et le phénomène de "coup de fouet", lors du port de la ceinture dans les collisions à grande décélération ?
 - . le siège "baquet" avec appui-tête muni "d'oreilles latérales" peut-il limiter les phénomènes rotatoires ?
 - . quelle doit être la plasticité des matériaux de garniture de l'habitacle ?

POUR UNE AMÉLIORATION DES SOINS EN URGENCE

Le retournement semble être le principal pourvoyeur de lésions vertébro-médullaires, bien que de nombreux auteurs le considèrent comme généralement peu dangereux. L'amélioration de la protection lors de telles collisions permettrait la diminution de la fréquence de cette étiologie. Malheureusement, nous nous trouvons devant une population de conducteurs jeunes, ne tenant pas ou trop peu compte des règles élémentaires de sécurité routière... jusqu'à ce qu'ils connaissent le handicap et les contraintes d'une rééducation de blessure spinale.

Lorsque le traumatisme vertébro-médullaire s'est produit, une importante organisation est nécessaire pour donner au blessé toutes les chances possibles de récupération. Les membres des services d'urgence s'attacheront à le manipuler et à le transporter avec soin, à interpréter avec précision les radiographies (étude attentive de la région C2, C7 D7, connaissance des facteurs d'instabilité) et à le confier le plus tôt possible au personnel spécialisé des centres de soins des traumatismes médullaires.

CONCLUSIONS

Nous avons étudié 100 dossiers concernant des blessés vertébro-médullaires lors d'accidents d'automobiles (90 blessés soignés à l'Hôpital Henry Gabrielle St Genis-Laval - et 10 morts autopsiés à l'Institut de Médecine Légale de LYON).

Ce travail comporte, d'une part, une analyse des dossiers clinique, radiologique et anatomique d'autre part, une analyse des circonstances matérielles des accidents (malaisée lorsqu'elles ont été obtenues par correspondance) en coopération avec les techniciens du Laboratoire des Chocs et de Biomécanique de l'Organisme National de Sécurité Routière (Bron).

Après un rappel anatomique et biomécanique concernant l'axe vertébro-médullaire, nous avons étudié les relations entre les lésions vertébrales, neurologiques, associées extrarachidiennes, létales et les circonstances des chocs.

Le retournement est ici très souvent rencontré (46 fois sur 100) alors que les statistiques concernant les accidents "tous venants" s'accordent sur une fréquence de 10 % seulement. Ce type de choc privilégie les lésions cervicales avec atteinte neurologique grave (dans un mécanisme de compression, rotation et inflexions) par heurt contre les parois du véhicule, les obstacles rencontrés lors de l'éjection, et entre les occupants. Il existe dans ces cas peu de lésions extrarachidiennes.

Le pourcentage de chocs frontaux (32 %) s'approche de la fréquence habituellement reconnue dans les accidents "tous venants". L'atteinte cervicale est fréquente par rotation et flexion. Ce mécanisme explique aussi les lésions du segment D12 L1, souvent retrouvées de manière assez inattendue. Les dommages associés sont nombreux notamment au niveau des membres inférieurs.

Les autres types de choc ne présentent aucune particularité, les traumatismes sont également répartis le long du rachis.

D'une façon générale, le mécanisme rotatoire est souvent à l'origine des blessures vertébrales.

La prévention des accidents (lutte contre l'alcoolisme, limitation de vitesse) est théoriquement préférable aux mesures de protection ; cependant les progrès accomplis dans cette voie ont amené une diminution des graves conséquences des collisions : port de la ceinture de sécurité, appui-tête, renforcement de sièges plus enveloppants, création d'un habitacle rigide protégé par des structures déformables absorbant l'énergie du choc.

La gravité des blessures vertébro-médullaires consécutives au retournement du véhicule (telle qu'elle ressort de notre travail) justifie l'étude approfondie des moyens de protection appropriés ; étude qui reste encore, il faut le souligner, très insuffisante.

Le Président de la Thèse

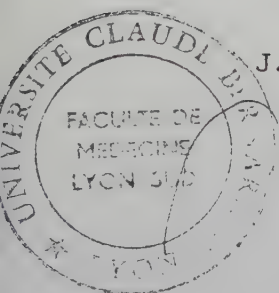
Vu, le Doyen de la Faculté
de Médecine Lyon-Sud

J. NORMAND

J. BOURRET

Vu et Permis d'imprimer
Lyon, le 8 MAI 1980

Le Président de l'Université Claude Bernard
Président du Comité de Coordination des
Etudes Médicales



R E F E R E N C E S

- (1) ADLI G.
Lésions associées et paraplégie
Annales de médecine physique, 1978, 21, 4, 468-477
- (2) ALTHOFF B.O.
Fracture of the odontoid process
An experimental and clinical study
Acta orthopaedica scandinavia, 1979, supplementum 177
- (3) ARCADIO F., CATON J., MOULAY A.
Etude des accidents de la circulation avec lésions corporelles,
survenues pendant le mois de Janvier 1971 sur le territoire de la
Communauté Urbaine de LYON
Lyon médical, 1972, 227, 10, 905-910
- (4) Baltimore city medical examiner's office and the John's Hopkins
Hospital
Correlative pathology and biomechanics of craniospinal injuries :
a post-mortem study of fifty fatal cases and a clinical review
of 300 treated cases.
International conference of the biokinetics of impact, Amsterdam,
June 1973, p 321-327
- (5) BANDET J.
Etude biomécanique de la liaison tête-thorax
Cahiers d'étude de l'ONSER, Décembre 1971, n° 28
- (6) BANDET J., CESARI D., RAMET M.
Etude des accidents de la route : l'éjection
Service biomécanique, Laboratoire des Chocs, BRON, Septembre 1970

- (7) BEDBROOK G.M.
Compression, flexion, extension injuries of the cervical spine
with tetraplegia
Spinal cord injury conference, Octobre 1973, Proceedings of the
19th veterans administration, p. 6-28

- (8) BENASSY J., BLANCHARD J., LECOCQ P.
Récupération neurologique dans les paraplégies et tétraplégies
traumatiques
Annales de médecine physique, 1967, 10, 2, 164-170

- (9) BERARD E.
Conduite à tenir face à un blessé médullaire
Cahiers médicaux, 1977, 2, 21, 1239-1248

- (10) BONNEL F., PRIVAT J.M., OHANA M., RABISCHONG P.
L'instabilité expérimentale : approche biomécanique des facteurs
de stabilité du rachis dorsolombaire
Revue de chirurgie orthopédique, 1977, 63, 5, 426-431

- (11) BRACKEN M.B., WEBB S.B., WAGNER F.C.
Classification of the severity of acute spinal cord injury :
implications for managements
Paraplegia, 1978, 15, 319-326

- (12) BREHANT J.
Une enquête sur 28 000 accidents automobiles de la route (firme
VOLVO)
La Presse médicale, 1970, 78, 29, 1332-1333

- (13) BROWN T., HANSEN R., YORRA A.
Some mechanical tests on the lumbar sacral spine with particular
reference to the intervertebral disc
J. Bone Joint Surg., 1957, 39-A, 1135-1164

- (14) BURKE D.C.
Hyperextension injuries of the spine
J. Bone Joint Surg., 1971, 53-B, 3-12

- (15) CASTANIER M.
Etude statistique des traumatismes médullaires selon 525 cas
suivis par l'unité des lésions médullaires de l'Hôpital Henry
Gabrielle, Thèse LYON 1978

- (16) CESARI D.
Communication personnelle, 1979

- (17) CESARI D., RAMET M.
Study of in the field roll over accidents and comparison with
roll over crash tests
Third International Conf. on Impact Trauma, Berlin, Sept. 1977

- (18) DAMHOLT W., NIELSEN H.V., NORDENTOFT E.L.
Correlations between accident circumstances and the type and
grade of injuries in traffic accidents
2nd International Conf. Biomechanics of Serious Trauma, Birmingham,
Septembre 1975

- (19) DEIDIER C.
Conduite à tenir devant un traumatisme médullaire au cours du
premier mois
Cahiers médicaux lyonnais, 1973, 49, 12, 1193-1197

- (20) DOLFUSS P., JACOB-CHIA D.
Réflexions sur l'examen neurologique clinique en urgence du
paraplégique
Annales de médecine physique, 1974, 17, 4, 513-519

- (21) EVANS D.K.
Anterior cervical subluxation
J. Bone and Joint Surg., 1976, 58 B, 318-321

- (22) EYSSETTE M.
Surveillance et rééducation d'un blessé médullaire pendant le
premier mois
Cahiers médicaux lyonnais, 1973, 49, 12, 1211-1216

- (23) EYSSETTE M., SINDOU M., GIRARD R., BOURRET J.
Une observation d'hydromyélie post-traumatique ou de "métaplégie"
Annales de médecine physique, 1977, 20, 1, 42-50
- (24) FAYON A., HARTEMANN F., TARRIERE C., THOMAS C., GOT C., PATEL A.
La ceinture de sécurité, théorie, expérimentations, mesure de son
efficacité sur 3 000 accidents réels
Association Peugeot-Renault, Institut de Recherches orthopédiques
Garches, Juillet 1979
- (25) FISCHER L.
Fractures et luxations fermées du rachis cervical chez l'adulte
Thèse LYON 1967
- (26) FISCHER L., CARRET J.P., MILLAN O.S.
Luxations complètes du rachis cervical
Cahiers médicaux lyonnais, 1975, 51, 16, 859-872
- (27) FISCHER L., GONON G.P., CARRET J.P., DIMNET J.
Biomécanique articulaire : Tome 2 : ceinture pelvienne et colonne
vertébrale
Ed. Association corporative des étudiants en médecine de LYON
- (28) FISCHER L., TEXIER d'ARNOULT A.
Fractures de l'apophyse odontoïde de l'axis chez l'adulte
Cahiers médicaux lyonnais, 1970, 46, n° 15, 1283-1308
- (29) FRANKEL H.L. et coll.
The value of postural reduction in the initial management of
closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia
Paraplegia 1969, 7, 3, 179-192
- (30) GARRETT J.W.
A study of roll over in rural united states automotive accidents
Proceedings of the 12th Stapp Car Crash Conf. Detroit, Michigan 1968
- (31)* GOGLER E.
Les accidentés du trafic routier
Documenta GEIGY, 1964

- (31) GONON G.P.,
Etude biomécanique de la colonne dorsolombaire de D10 à S1
(études mécaniques de certaines méthodes d'ostéosynthèses postérieures)
Thèse LYON 1975
- (32) GONON G.P., CARRET J.P.
Fractures du rachis cervical
Cahiers médicaux, 1975, 1, 7, 535-542 et 1975, 1, 8, 618-623
- (33) GONON G.P., CARRET J.P.
Les fractures du rachis dorsolombaire
Cahiers médicaux, 1975, 1, 12, 899-909
- (34) GOT C., CHESNEAU A.M., MERIGNARGUES C., THOMAS C.
Les causes de la mort des automobilistes accidentés
La vie médicale, 1973, 54, 37/4, 4741-4742
- (35) GOUTELLE A., LECUIRE J., BOURRET J., De ROISSARD J.P.
Les complications médullaires des traumatismes de la colonne
cervicale (à propos de 100 observations)
Lyon chirurgical, 1968, 64, 3, 516-547
- (36) GREGERSEN G.G., LUCAS D.B.
An in vivo study of the axial rotation of the human thorocolumbar
spine
J. Bone and Joint Surg., 1967, 49A, 247-262
- (37) GUTTMANN L.
Spine injuries
P. HARRIS, Ed. Royal College of Surgeons, Edinburgh, 1963
- (38) GUTTMANN L.
Spinal cord injuries, comprehensive management and research
Blackwell scientific management, 1973
- (38)* HACHEN H.J.
Emergency transportation in the event of acute spinal cord lesion
○ Paraplegia, 1974, 12, 33-37

- (39) HERPOEL C.
Lésions du rachis cervical et du bassin osseux dans les accidents
d'automobile. Influence du port de la ceinture de sécurité
Thèse DIJON 1977
- (40) HOLDSWORTH F.W.
Fractures, dislocations and fracture dislocations of the spine
J. Bone and Joint Surg. 1963, 45 B, 1, 6-20
- (41) HUELKE D.F., MARSH J.C., BALLARD W.J.
Injuries causation in roll over accidents
Proc. of the 17th Conf. of the American Associat. for Automotive
Medicine (AAAM), Novembre 1973, 87-115
- (41)* HUELKE D.F., MARSH J.C., SCHERMAN H.W.
Analysis of roll over accident factors and injury causation
Proc. of the 16th conf. of the A.A.A.M. Chapel Hill, Carolina,
Octobre 1972, 62-79
- (42) HURTH M., DJINDJIAN R.
La circulation spinale et ses syndromes.
La revue de Médecine, 1973, 43, 2867-2876
- (43) KAPANDJI I.A.
Physiologie articulaire
Fascicule 3 : Tronc et rachis, Librairie Maloine, 1975
- (44) KAUFER H., HAYES J.F.
Fracture luxation lombaire, étude de 21 cas
J. Bone and Joint Surg. 1966, 48 A, 4, 712-730
- (45) LACERT Ph et coll
Examen neurologique du paraplégique
Annales de médecine physique, 1978, 21, 4, 538-558
- (46) LAVARDE G.
Lésions traumatiques du rachis
Pathologie chirurgicale, Masson, 1971

- (47) LAZORTHES G., GOUAZE A., DJINDJIAN R.
Vascularisation et circulation de la moelle épinière
Masson, 1973
- (48) LINDHAL O.
Mechanical properties dried defatted spongy bone
Acta orthopaedica scandinavia, 1976, 47, 11
- (49) LOUIS R.
Traumatismes du rachis cervical
1. entorses et hernies discales
La nouvelle presse médicale, 1979, 8, 22, 1843-1849
2. fractures et luxations
La nouvelle presse médicale, 1979, 8, 23, 1931-1937
- (50) LOUIS R.
Les théories de l'instabilité
Revue de chirurgie orthopédique, 1977, 63, 5, 4, 423-425
- (51) MARAR B.C., ORTH M.
The pattern of neurological damage as an aid to the diagnosis of
the mechanism in cervical spine injuries
J. Bone and Joint Surg., 1974, 56 A, 1648-1654
- (52) MAURY M., LACERT Ph
Traumatismes de la moelle épinière
Encyclopédie médico-chirurgicale, Neurologie., 17685-A 10-1-1971
- (53) MAZOYER J.F., BOCHU M.
La phlébologie rachidienne lombaire et cervicale
lère partie : anatomie des veines du rachis, technique et résultats normaux
Lyon médical, 1978, 239, 9, 569-573
- (54) MAZOYER J.F., LEVY A., CLAVE C., BOCHU M.
La phlébologie rachidienne lombaire et cervicale
2ème partie : résultats anormaux, tolérance, intérêt de la méthode et indications
Lyon médical, 1978, 240, 20, 575-580

- (55) MERIGNARGUES G., GOT C., TARRIERE C., HONNART F., CHESNEAU A.M.
PATEL A.
Les fractures circulaires de la base du crâne au cours des accidents de la route
La Nouvelle Presse Médicale, 1975, 4, 31, 2245-2248
- (56) MILLER M.M., STACKS H.J.H.
Ejection in car accidents
Road Research Lab. Ministry of Transport, RRL Report LR 190, 1968
- (57) MINAIRE P. et coll
Paraplégie et tétraplégie. Guide pratique de la rééducation et de la réadaptation
Préface du Professeur J. BOURRET, Masson 1979
- (58) MINAIRE P., CASTANIER M., GIRARD R., BERARD E., DEIDIER C., BOURRET J.
Epidemiology of spinal cord injury in the Rhone-Alpes regions, France 1970-1975
Third international conf. on impact trauma, Berlin, Sept. 1977, 52-57
Paraplegia, 1978, 16, 1, 76-87
- (59) MOFFATT E.A.
Occupant motion in roll over collisions
Proceedings of the 19th conf. of the AAAM San Diego, California, Novembre 1975, 50-59
- (60) MOFFATT E.A., SPIEGEL A., HUELKE D.E., NAHUM A.
The biomechanics of automotive cervical fractures
Proc. of the AAAM, 22nd conf. Juillet 1978, 151-168
- (61) MOREAU R., LUMBROSO J.
Le gamma myélographie en neurochirurgie
Neurochirurgie, 1976, 22, 4, 385-396
- (62) De MOURGUES G., FISCHER L.P., GONON G.P., COURCELLES Ph, BOCHU M., MAZOYER J.F., CARRET J.P., NOYER D.
Intérêt de la phlébographie vertébrale dans le diagnostic des affections discales lombaires
Lyon chirurgical, 1978, 74, 1, 43-46

- (63) De MOURGUES, FISCHER L., JARSAILLON B., MACHENAUD A.
Fracture de l'arc postérieur de l'axis
Revue de chirurgie orthopédique, 1973, 59, 7, 549-564
- (64) NACHEMSON A., EVANS J.
Some mechanical properties of the third lumbar interlaminar ligament
J. Biomechanics, 1968, 1, 211
- (65) NICOLL E.A.
Fracture of the dorsolumbar spine
J. Bone and Joint Surg. 1949, 31 B, 376-394
- (66) NORDMANN R., BRION S., HAAS R.M., CHEVALIER J.F.
Alcoologie. Tome 2 : alcoolisme, approches thérapeutique et
médicosociale
Dossiers CLIN-MIDY
- (67) PATEL A., GOT C., HARTEMANN F., THOMAS C., TARRIERE C.
Enquête médicale et technique sur les accidents de la route
La Vie médicale, 1973, 54, 37/4, 4689-4714
- (68) PELICIER Y.,
Les saigneurs de la route
Le concours médical, 1977, 99, 48-49, 7506-7507
- (69) PERNA E.
Tetraplegia from trauma of the cervical spine in the absence
of fractures and luxation
Journal of neurosurgery, 1975, 19, 171
- (70) PORTNOY H.D., MAC ELHANEY J.H., MELVIN J.W.
Mechanism of cervical spine injury in auto accidents
Proc. of the 15th conf. of the AAAM, Reprint Avril 1972
- (71) PUJOS M.
Lésions provoquées par les ceintures de sécurité dans les accidents
d'automobile
Thèse TOULOUSE 1977

- (72) RABISCHONG P.
Le rachis. Série explorations fonctionnelles : l'appareil locomoteur
Laboratoires ROUSSEL
- (73) RAJAN G.A., MACKAY G.M.
Comparisons of car crashes in the three countries
13rd Stapp Car Crash Conf. Boston, Décembre 1969
- (74) RAMADIER J.O., BOMBART M.
Fractures et luxations du rachis cervical sans lésion médullaire
1. Généralités : lésions des deux premières vertèbres, 52 cas
Revue de chirurgie orthopédique, 1963, 49, 6, 741
- (75) RAMET M., CESARI D.
Les traumatismes de la colonne cervicale
Présentation au colloque de traumatologie, 16 novembre 1971,
Société de Médecine de Charleroi
- (76) RAMET M., CESARI D.
Etat de la question sur les tolérances du segment thoracique.
International Conf. of the Biokinetics of Impact, Amsterdam,
Juin 1973, 367-386
- (77) RAMET M., CESARI D.
Etude de 100 cas d'accidents fatals et leur comparaison avec des
accidents de même violence n'ayant pas entraîné la mort
2nd international conf. biomechanics of serious trauma,
Birmingham, Septembre 1975, 297-312
- (78) RIEUNAU G.
Manuel de traumatologie
Masson, 1975
- (79) RIGGINS R.S., KRAUS J.F.
The risk of neurological damage with fractures of the vertebrae
J.Trauma, 1977, 17, 2, 126-133

- (80) ROAF R.
A study of mechanics of spinal injuries
J. Bone and Joint Surg. 1960, 42 B, 810-823
- (81) ROUVIERE H.
Anatomie humaine. Tome 3 : membres, système nerveux central
11e édition révisée et augmentée par A. DELMAS, Masson 1974
- (82) ROY-CAMILLE R., SAILLANT G., SAGNET P.
Lésions traumatiques du rachis cervical sans complication neurologique
Encyclopédie Médico-Chirurgicale Paris. Appareil locomoteur 2-1975-
15825-A-10
- (83) ROY-CAMILLE R., BERTEAUX D., SAILLANT G.
Analyse anatomoradiologique (des lésions du rachis)
Revue de chirurgie orthopédique, 1977, 63, 5, 419, 422
- (84) ROY-CAMILLE R., SAILLANT G., BERTEAUX D., BISSERIE M.
Entorses graves du rachis cervical. Traitement par voie postérieure
Revue de chirurgie orthopédique, 1978, 64, 8, 675-684
- (85) RUBINSTEIN E.
An analysis of fatal car crashes in which the victim was wearing
a seat belt
Proc. of international conf. of the Biokinetics of Impact,
Amsterdam, Juin 1973, 49-58
- (86) SCHNEIDER R.C.,
The syndrom of acute anterior spinal cord injury
J. neurosurgery, 1955, 12, 95
- (87) SCHNEIDER R.C.
The syndrom of acute central spinal cord injury
J. neurosurg. 1954, 11, 546
- (88) SCHUHL J.F., FISCHER L.
La traction transcranienne par étrier de CRUTCHFIELD dans les
traumatismes du rachis cervical
Cahiers médicaux lyonnais, 1974, 50, 33, 2565-2566

- (89) SCRIPARU G., IANOVICI N., ANGHEL M.
Biomechanical aspects in the critical cervical traumas
2nd international conf. Biomechanics of serious trauma,
Birmingham, Septembre 1975, 62-71
- (90) SENEGAS J., LANGNOLLE B.
Rééducation des fractures du rachis dorsolombaire sans signes
neurologiques
Encyclopédie Médico-Chirurgicale Paris. Kinésithérapie 4-3-09-
26286-A 10
- (91) SICARD A.
Lésions des disques cervicaux, conséquences de la traumatologie
routière.
La Presse médicale, 1959, 67, 37, 1455-1456
- (92) SICARD A.
Le praticien et les accidents de la route
Semaine des Hôpitaux. Informations, 23 octobre 1975, 30-33
- (93) SIVARD J.
Contribution à l'étude des causes de la mort dans les accidents
du trafic automobile
Thèse LYON 1976
- (94) SUH C.H.
Dynamic simulation of the cervical spine with use of the differen-
tial displacement matrix
Third international conf. on impact trauma, Berlin, septembre 1977
- (95) SYPERT G.W., MOZINGO J.R.
A technique for early pantopaque myelography in cervical spine
cord injuries
Surgical neurology, 1976, 6, 221-222
- (96) TARRIERE C., HARTEMANN F., THOMAS C., PATEL A., GOT C.
Evaluation de l'efficacité des ceintures de sécurité 3 points
La vie médicale, 1973, 54, 37/4, 4717-4732

- (97) TATOR C.H., DEECKE L.
Studies of the treatment and pathophysiology of acute spinal
cord injuries in primates
Paraplegia, 1973, 10, 344-345
- (98) TURNBULL I.M.
Microvasculature of the human spinal cord
J. Neurosurg. 1971, 35, 141-147
- (99) VANDERVAEL F.
Analyse des mouvements du corps humain
6e édition, Maloine 1976
- (100) VERRIEST J.P.
La biomécanique du système tête-cou
Etudes bibliographiques. Cahiers d'études de l'ONSER, Mai 1975 n° 9
- (101) VERRIEST J.P., MARTIN F., VIVIANI P.
Influence de l'état de la musculature cervicale sur le comportement
dynamique du système tête-cou du babouin. Etude expérimentale
sur banc d'essais et modélisation
Cahiers d'études de l'ONSER, Octobre 1976 n° 39
- (102) VIGNON G.
Les traumatismes cervicaux des accidents d'automobile. Traumatismes
mineurs et séquelles
La Revue du Praticien, 1968, 18, 12, 1821-1831
- (103) VIGOUROUX R.P., CHAIX C., GUILLERMAIN P.
Fréquence, étiologie, mécanismes, anatomopathologie des lésions
médullaires
La Revue du Praticien, 1971, 21, 25, 3695-3704
- (104) VLAHOVITCH B. et coll
Approche expérimentale des lésions traumatiques et des techniques
d'ostéosynthèse du rachis cervical
Instantanés médicaux, Encyclopédie médico-chirurgicale, 1979, 4,
43-47

- (105) VLAHOVITCH B., FUENTES J.M.
Traumatisme de la moelle cervicale. Aspects physiopathologique
et thérapeutique
Le Journal des Agrégés, 1974, 7, 8-9, 279-284
- (106) VLAHOVITCH B., FUENTES J.M.
Les traumatismes vertébro-médullaires cervicaux
Médicorama, Mars 1975, n° 187
- (107) WEBB J.K., BROUGHTON R.B., MAC SWEENEY T., PARK W.M.
Hidden flexion injury of the cervical spine
J. Bone and Joint Surg. 1976, 58 B, 322-327
- (108) WERNER A.
Pour ou contre la ceinture de sécurité
Cahiers médicaux, 1977, 2, 34, 1921-1928
- (109) WHITE III A.A., PANJABI M.M.
Clinical biomechanics of the spine
Ed. J.B. Lippincott Company U.S.A. 1978, 785 références bibliog.
- (110) WHITESIDES T.E.
Traumatic cyphosis of the thoracolumbar spine
Emory University School of Medicine, Atlanta, USA
- (111) WILLIAMS T.G.
Hangman's fracture
J. Bone and Joint Surg. 1975, 57 B, 82-88

